

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Racionalizace obrábění zadního dílu nátku  
papírenského stroje**

**Machining Rationalization of Backside Stock  
of Paper Machine Intel**

Student:

Bc. Ondřej Vortel

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2011

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Ondřej Vortel**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

**Racionalizace obrábění zadního dílu nátoku papírenského stroje**  
**Machining Rationalization of Backside Stock of Paper Machine Inlet**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Obrábění těžceobrobitelných materiálů.
3. Současná technologie výroby dané součásti.
4. Návrh nové technologie výroby dané součásti.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABÁČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

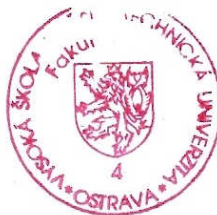
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....23.5.2011.....

.....*Andriy Vorhel*.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách) ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23.5.2011.....

.....  
Ondřej Vortel  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Ondřej Vortel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Příčná 423; Červenka 78401

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VORTEL, O. *Racionalizace obrábění zadního dílu nátoku papírenského stroje: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 73 s. Vedoucí Čep, R.

Diplomová práce se zabývá výrobou zadního dílu nátoku papírenského stroje. Samotná výroba dílu je realizována v podniku Papcel, a. s. Litovel. V úvodu práce jsou popsány technologie, které je možno aplikovat při výrobě součástí. Dále je v práci popsán současný průběh výroby součástí spolu s problémy, které se při výrobě vyskytují.

Na základě těchto poznatků je navržen nový postup výroby zadního dílu nátoku papírenského stroje, který má za cíl celkové zefektivnění výroby, jak po stránce finanční, tak po stránce časových úspor. V závěru práce je provedeno srovnání obou výrobních postupů a vyhodnocení výsledků. V příloze je uveden výrobní postup a výkresová dokumentace potřebná pro výrobu dané součásti.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

VORTEL, O. *Machining Rationalization of Backside Stock of Paper Machine Intel: Master Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, 73 p. Thesis head: Čep, R.

The thesis is concerned with the production of backside stock of paper machine intel. Production of the stock itself is realized in company Papcel, a. s. Litovel. Technologies, which are applicable in the production of the component part, are defined in the introduction. Current process of the production of the component part with problems, which occur with the production, is described below.

On account of the findings is suggested a new procedure of the production of backside stock of paper machine intel, which aims to overall effectiveness of the production, both as for the financial aspect and time saving. Comparison of both production procedures and evaluation of results are performed in the conclusion. Production procedure and graphical documentation, necessary for production of the given component part, are presented in the supplement.

## Obsah

<b>Seznam použitých zkratek.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1. Úvod do problematiky .....</b>	<b>- 5 -</b>
1.1 Základní informace o společnosti Papcel, a. s. Litovel .....	- 6 -
1.1.1 Výrobní a dodavatelské možnosti společnosti .....	- 7 -
1.2 Základní popis stroje na výrobu papíru .....	- 8 -
1.2.1 Popis nátoku papírenského stroje.....	- 8 -
<b>2. Obrábění těžceobrobitelných materiálů .....</b>	<b>- 10 -</b>
2.1 Obrobitelnost materiálů .....	- 10 -
2.2 Charakteristika korozivzdorných ocelí.....	- 12 -
2.2.1 Druhy korozivzdorných ocelí.....	- 13 -
2.3 Materiály řezných nástrojů .....	- 14 -
2.3.1 Rychlořezné oceli.....	- 15 -
2.3.2 Slinuté karbidy .....	- 17 -
2.3.3 Cermety .....	- 23 -
2.3.4 Řezná keramika .....	- 24 -
2.4 Materiály pro obrábění korozivzdorných ocelí .....	- 26 -
<b>3. Současná technologie výroby dané součásti .....</b>	<b>- 28 -</b>
3.1 Základní charakteristiky použitých materiálů .....	- 29 -
3.2 Současný postup výroby zadního dílu nátoku papírenského stroje.....	- 30 -
3.3 Popis použitých technologií a strojů.....	- 31 -
3.3.1 Dělení materiálu .....	- 32 -
3.3.2 Frézování úkosů .....	- 32 -
3.3.3 Svařování.....	- 32 -
3.3.4 Hoblování .....	- 33 -
3.3.5 Frézování dílu, vrtání a řezání závitů .....	- 34 -
3.3.6 Broušení .....	- 37 -
3.3.7 Elektrochemické leštění broušených ploch dílu.....	- 38 -
3.4 Problémy spojené s výrobou .....	- 39 -
<b>4. Návrh nové technologie výroby dané součásti .....</b>	<b>- 40 -</b>
4.1 Nový postup výroby zadního dílu nátoku papírenského stroje .....	- 40 -
4.1.1 Navržený postup pro frézování jednotlivých ploch zadního dílu nátoku....	- 42 -

---

4.1.2	Výpočet délkové míry pro frézování čel .....	- 44 -
4.1.3	Program pro frézování plochy zadního dílu nátoky .....	- 45 -
4.1.4	Popis technologie broušení strukturovanými brusnými materiály .....	- 47 -
4.1.5	Broušení ploch zadního dílu nátoky brusnými pásy Trizact .....	- 49 -
4.1.6	Moření povrchu zadního dílu nátoky .....	- 51 -
4.2	Použité stroje v novém návrhu výroby .....	- 51 -
4.2.1	CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj Škoda FCW 150 .....	- 51 -
4.2.2	Přídavné frézovací zařízení .....	- 53 -
4.3	Použité nástroje v novém návrhu výroby .....	- 54 -
4.3.1	Navržení nástrojů pro frézování v novém postupu výroby .....	- 54 -
<b>5.</b>	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>- 58 -</b>
5.1	Zhodnocení stanovených výrobních časů .....	- 58 -
5.2	Ekonomické zhodnocení výroby zadního dílu nátoky .....	- 60 -
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>- 62 -</b>
<b>7.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>- 63 -</b>
<b>8.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>- 65 -</b>

---

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A <sub>5</sub>	Tažnost [%]
CAD	Počítačem podporované projektování [-]
CAM	Počítačová podpora obrábění [-]
CNC	(Computer Numerical Control) číslicové řízení pomocí počítače [-]
CVD	(Chemical Vapour Deposition) metoda nanášení povlaku na VBD chemickým napařováním z plynné fáze [-]
ČSN	Česká technická norma [-]
DIN	Německá průmyslová norma [-]
EN	Evropská norma [-]
FEPA	(Federation of European Producers of Abrasives) Mezinárodní evropská norma značení zrna pro výrobu brusných nástrojů [-]
HB	Tvrdost podle Brinella [-]
ISO	Mezinárodní norma [-]
K <sub>v</sub>	Součinitel obrobiteľnosti [-]
L	Celková délka tělesa při zahřátí (ochlazení) [mm]
L <sub>0</sub>	Původní délka tělesa [mm]
MAG	Metal Active Gas (obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře) [-]
MTCVD	(Middle Temperature Chemical Vapour Deposition) metoda nanášení povlaku na VBD za teplot, které jsou výrazně nižší než při CVD [-]
PCVD	(Plasma Chemical Vapour Deposition) metoda nanášení povlaku na VBD za teplot, aktivace plynné atmosféry v plazmatickém výboji [-]
PD	Polykrystalický diamant [-]
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid boru [-]
PVD	(Physical Vapour Deposition) nanášení otěruvzdorného povlaku na VBD fyzikálním napařováním [-]
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu drsnosti [μm]
Re	Mez kluzu v tahu [MPa]
Rm	Pevnost v tahu [MPa]
RO	Rychlořezná ocel [-]
SK	Slinutý karbid [-]
VB	Opotřebení hřbetu nástroje [mm]



---

VBD	Vyměnitelná břitová destička [-]
$V_{cT/VB}$	Řezná rychlost při trvanlivosti T pro opotřebení hřbetu VB [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
T	Trvanlivost [min]
$a_e$	Šířka řezu [mm]
$a_p$	Hloubka řezu [mm]
f	Posuv [mm]
$f_{dz}$	Posuv na dvojzdvih [mm]
$f_z$	Posuv na zub [mm]
n	Otáčky vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]
$t_{AC}$	Jednotkový strojní čas s podílem času směnového [hod]
$t_{BC}$	Dávkový čas s podílem času směnového [hod]
$t_1$	Původní teplota tělesa [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_2$	Teplota tělesa po zahřátí (ochlazení) [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$v_c$	Řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
$v_f$	Posuvová rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
$\Delta t$	Rozdíl teplot [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\alpha$	Součinitel teplotní délkové roztažnosti [-]

## 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Papírenský průmysl je jedním z tradičních odvětví zpracovatelského průmyslu v České republice a zaměstnává velké procento populace. Už v historii byla výroba papíru založena na obnovitelných zdrojích a tento rys papírenského průmyslu by měl přetrvávat i do budoucnosti. Podle světových statistik je papírenský průmysl druhým největším průmyslovým oborem, který využívá obnovitelné zdroje, hned za průmyslem potravinářským. Očekává se, že v nejbližších letech světová spotřeba papíru bude nadále vzrůstat.

Hlavní surovinou pro výrobu celulózového vlákna je dřevo, které je při procesu zpracování rozmělněno na jednotlivá vlákna a to buď chemicky či mechanicky. Celulózové vlákno je přírodní produkt, jenž je velmi odolný a schopný opakované recyklace. Papírenský průmysl, kde je celulózové vlákno hojně využíváno, měl velký vliv na stav životního prostředí, byl jeho významným znečišťovatelem až do roku 1980 a byl také vždy považován za hlavního spotřebitele přírodních zdrojů a energie. Do této doby byly říční toky výrazně znečišťovány odpadními vodami z mnoha papíren, což mělo za následek velké úhyny ryb. Díky zlepšení kvality a značnému omezení vypouštění odpadních vod došlo v této oblasti za poslední roky k výraznému pokroku snižováním negativních vlivů činnosti papíren ke snížení emisí až o 90% a dá se předpokládat, že i do budoucna bude toto číslo nadále stoupat. Na omezení vypouštění odpadních vod mělo velký podíl zejména to, že většina papíren už dnes využívá uzavřené vodní okruhy pro čištění vody, díky kterým je vznik odpadů stále menší. Omezování vzniku odpadů, úspora energií a šetrnost k přírodním zdrojům bude stále ústředním tématem pro ochranu a zlepšení kvality životního prostředí.

Technologie výroby se v papírenském průmyslu neustále vyvíjí, a to jak v oblasti strojů, tak i v oblasti používaných nástrojů. Tato diplomová práce byla zhotovena ve spolupráci se společností Papcel, a. s. Litovel, jenž má dlouholeté zkušenosti s výrobou papírenských linek, strojů a jejich veškerých součástí. Pro zajištění konkurenceschopnosti společnosti je nutné stále zdokonalovat výrobní metody a využívat nově dostupné technologie pro výrobu strojních součástí.

S danou problematikou souvisí i má diplomové práce, jejímž úkolem je na základě zkušeností s předchozí technologií výroby papírenských nátoků a s nezbytným přihlédnutím k výrobním možnostem společnosti navrhnout racionalizaci obrábění zadního dílu nátoku, který je součástí stroje pro výrobu papíru. Práce bude zaměřena na řešení konkrétních problémů vzniklých v průběhu modernizace a zdokonalování výroby daného dílu nátoku

papírenského stroje a to hlavně v oblastech technologií třískového obrábění použitých při výrobě tohoto dílu. Dalším úkolem je snížení výrobního času jednotlivých technologických operací a tím snížení celkového výrobního času potřebného ke zhotovení zadního dílu nátku papírenského stroje. Následně bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení a srovnání navrženého postupu výroby s postupem předchozím.

## **1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI PAPCEL, A. S. LITOVEL**

Společnost Papcel, a.s. Litovel leží na střední Moravě ve městě Litovel. Vyrábí nejen nové stroje a technologická zařízení pro papírenský průmysl, ale zaměřuje se také na rekonstrukce a modernizace starších papírenských strojů. Společnost má k dispozici potřebná předvýrobní oddělení, technický a technologický vývoj, zkušebnu, konstrukci a hlavně výrobní prostory a montážní haly s veškerým potřebným technickým vybavením pro požadovanou strojírenskou výrobu.

Na realizaci projektů se podílí téměř 200 zaměstnanců. Společnost vyrábí a dodává stroje a zařízení pro linky papírenských strojů a přípraven látky. Zajišťuje dodávky kusové ale i dodávky kompletních technologií, opravy a rekonstrukce celých technologií. Pro dodaná zařízení zajišťuje náhradní díly a kompletní servisní služby.

Převážná část produkce společnosti (asi 80%) směřuje do zahraničí. Obchodní aktivity jsou zaměřeny nejen na trhy v oblasti celé Evropy, ale rozšiřují se i do oblastí Asie, Afriky a Latinské Ameriky. Mezi nově získané trhy patří například Egypt, Írán, Kolumbie nebo Ekvádor.

Ve své historii dodala společnost více než 70 nových, případně rekonstruovaných strojů. Za období v letech 2004 až 2010 se jen ve východní Evropě zprovoznilo více než 40 linek přípravy látky. [13], [18]

Cílem společnosti je identifikovat a realizovat potřeby zákazníků i zaměstnanců a tuto organizaci přizpůsobit tak, aby byla schopna maximální měrou plnit všechny požadavky z daných oblastí. Mezi dlouhodobé strategické cíle společnosti patří zlepšování technické úrovně, zlepšování konkurenceschopnosti, zlepšování servisní a technické podpory, pronikání na nové trhy a zlepšování výkonů zaměstnanců.

Společnost Papcel, a.s. Litovel garantuje kvalitu své produkce a je držitelem těchto certifikátů a oprávnění:

- ISO 9001:2008 Systém managementu jakosti
- ISO 14001:2004 Systém environmentálního managementu
- OHSAS 18001:2007 Systém managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- Velký svářečský průkaz udělený SLV Berlín opravňující k výrobě ocelových konstrukcí



Obr. 1.1 Sídlo společnosti Papcel, a.s. Litovel.

#### 1.1.1 Výrobní a dodavatelské možnosti společnosti

- Stroje a zařízení pro linky přípravy látky zaměřené na zpracování sběrového papíru.
- Stroje a zařízení pro linky papírenských a lepenkových strojů zaměřené na výrobu obalových materiálů, speciálních papírů a psacích papírů, používající jako surovinu sběrový papír.
- Opravy, rekonstrukce a modernizace starších a dříve dodaných strojů a zařízení.
- Prodej a repase “second – hand“ zařízení.
- Válce tlakové a beztlakové do průměru 1500 mm a délky 8000 mm.
- Čerpadla pro papírenský průmysl, potravinářský průmysl a odpadová hospodářství.
- Zásobní a míchací nádrže.
- Ostatní výrobky podle požadavků zákazníka do hmotnosti 20 tun.
- Speciální procesy (vyvažování, tryskání, broušení válců, žárové nástřiky, povrchové ochrany nátěrem, nanášení nekovových povlaků, superfinišování). [18]

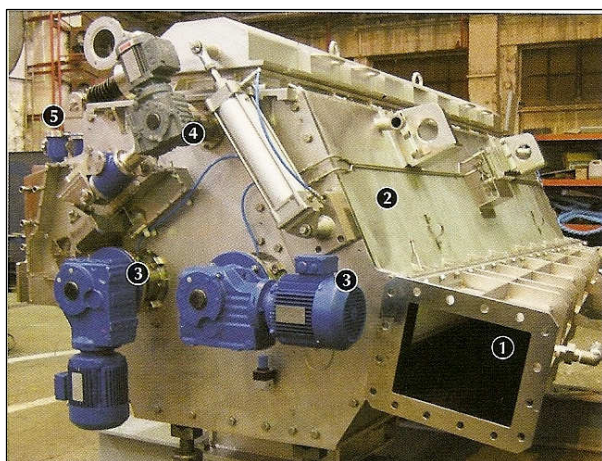
## 1.2 ZÁKLADNÍ POPIS STROJE NA VÝROBU PAPÍRU

Papírenský stroj má dvě základní části – konstantní a variabilní. Konstantní částí papírenského stroje se rozumí příslušenství, které je předřazené vlastnímu papírenskému stroji a pracuje stálou rychlostí, kterou nelze změnit. Zpravidla se skládá ze strojní nádrže, směšovacích čerpadel, regulátoru konzistence, čistícího a třídícího zařízení a nátoku.

Variabilní část tvoří vlastní papírenský stroj, jehož rychlost je možno měnit podle okamžitých podmínek. Variabilní část papírenského stroje je tvořena síťovou částí, lisovou částí (souborně se síťová a lisová část nazývá mokrou částí), sušicí částí, koncovou částí (zpravidla zahrnuje hladicí stolicí a navíjecí zařízení) a pohonem papírenského stroje. [12]

### 1.2.1 Popis nátoku papírenského stroje

Nátok je skříňového tvaru a je vyroben z nerezové oceli. Použitím kvalitního materiálu nátok získává vysokou odolnost proti tepelným a chemickým vlivům. Pro vytvoření papírového listu požadované jakosti musí být zajištěno, aby papírenská vodolátka přitékala na síť papírenského stroje v rovnoměrné vrstvě a optimální rychlostí po celé jeho šířce. Toto je zajištěno řadou rozdělovacích trubek umístěných po šíři nátoku a zevnitř nátoku pomocí dvou rozdělovacích deflokulačních válců s měnitelnými otáčkami. Do vtokového tělesa vlastního nátoku přitéká papírenská vodolátka hadicemi stejného průměru a délky z kruhového rozdělovače. Přípravná látka a nátok papírenského stroje jsou dvě klíčová místa ovlivňující mechanické vlastnosti papíru.

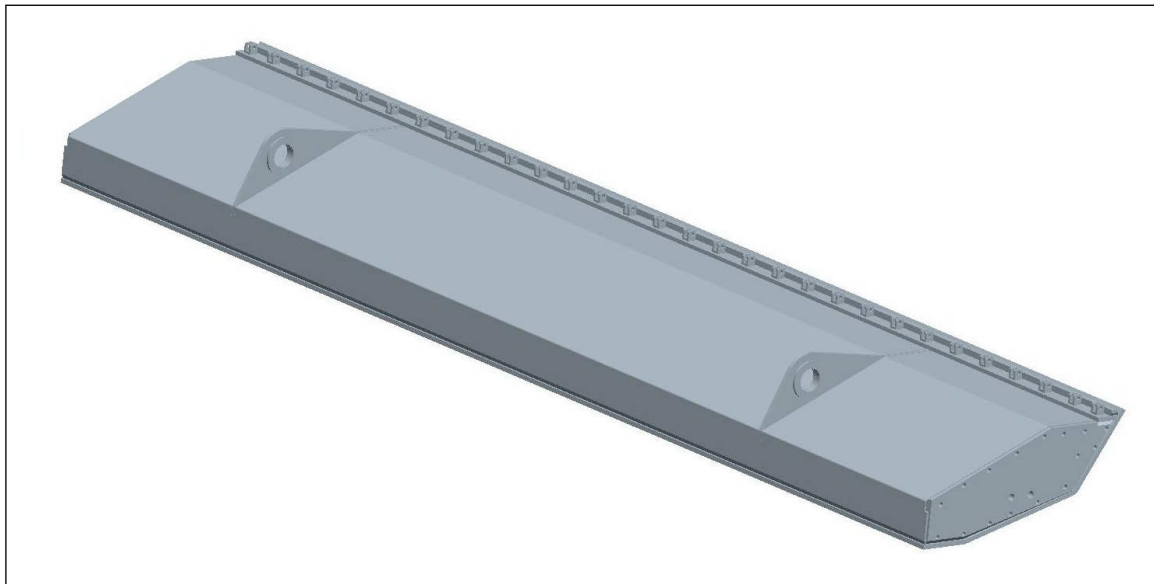


- 1 - rozdělovač,
- 2 - vlastní nátoková skříň,
- 3 - vyrovnávací (deflokulační) válec s pohonem,
- 4 - protipěnová stříkačka,
- 5 - regulace horního rtu.

Obr. 1.2. Nátok papírenského stroje. [13]

***Popis zadního dílu nátoku papírenského stroje***

Zadní díl nátoku papírenského stroje uzavírá prostor nátokové skříně. Povrch některých stěn zadního dílu nátoku přichází do kontaktu s papírenskou vodolátkou a proto tento povrch musí dosahovat velmi nízké drsnosti, jinak by papírenská vodolátka ulpívala na stěnách zadního dílu, což by narušovalo správný chod celého nátoků.



**Obr. 1.3 Zadní díl nátoku papírenského stroje.**

---

## 2. OBRÁBĚNÍ TĚŽCOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ

Neustálý rozvoj techniky klade stále vyšší nároky na strojní součásti. Zvyšují se požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost, složitost výrobků a kvalitu povrchu. To vede také k tomu, že v celé řadě případů není možné použít čisté kovy nebo jejich slitiny. Tato skutečnost je bezprostředně spojena s vývojem a použitím nových kovových materiálů, které mohou mít různé speciální vlastnosti, jako jsou:

- odolnost proti otupení,
- odolnost proti vysoké teplotě,
- odolnost proti agresivnímu prostředí,
- vysoká tvrdost a pevnost. [9]

Zlepšování těchto vlastností kovových materiálů s sebou ale většinou přináší zhoršování vlastností technologických. Proto s vývojem nových materiálů rostou nároky na řezné nástroje a obráběcí stroje a objevují se nové technologické metody aplikované na konkrétní zadání. Neustálé soutěžení výrobců nástrojů ve vývoji řezných materiálů přináší pokroky i do obrábění těžkoobrobitelných materiálů. V současné době je k dispozici široká škála moderních materiálů pro řezné nástroje, které umožňují třískové obrábění i velmi tvrdých těžkoobrobitelných materiálů. Podrobná znalost vlastností těžkoobrobitelných materiálů a procesu obrábění umožňuje zvolit vhodnou technologii obrábění, vhodný řezný materiál a nástroj a hlavně vhodné řezné podmínky, což jsou předpoklady pro co nejvyšší optimalizaci procesu obrábění jak z hlediska časového tak i ekonomického.

### 2.1 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ

Obrobitelnost je technologická vlastnost daného materiálu být zpracován konkrétní metodou obrábění. Zahrnuje vliv mechanických a fyzikálních vlastností, chemického složení a tepelného zpracování materiálu na průběh a na kvalitativní a ekonomické výsledky procesu řezání.

Obrobitelnost se nevztahuje jen k samotnému obráběnému materiálu, ale závisí i na způsobu obrábění a řezných podmínkách. Pojem obrobitelnost nelze odloučit od pojmu řezivost nástroje, protože konečný kvalitativní a ekonomický výsledek závisí také na fyzikálních vlastnostech břitu nástroje. Obrobitelnost je závislá na mnoha faktorech, z nichž jsou nejdůležitější: [1], [5]

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- pracovní prostředí,
- metoda obrábění,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu. [1]

Z hlediska charakteristik obrobiteľnosti a řezivosti je možné obrobiteľnost a řezivost rozdělit na dva druhy, a to obrobiteľnost a řezivost relativní a absolutní. Jak již bylo řečeno, obrobiteľnost a řezivost spolu úzce souvisí a mnohá kritéria obrobiteľnosti jsou současně i kritéria řezivosti. Obrobiteľnost (řezivost) relativní je charakterizována bezrozměrnými čísly udávajícími poměr velikosti určité veličiny, která se vztahuje k danému materiálu obrobku a velikosti této veličiny odpovídající etalonovému materiálu obrobku. Obrobiteľnost (řezivost) optimální je dána buď funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími nebo velikostí dané veličiny charakterizující obrobiteľnost materiálu. Vhodná kritéria, jak rychle a dostatečně přesně stanovit obrobiteľnost mohou být:

- dosažená drsnost obrobené plochy,
- velikost opotřebení břitu nástroje,
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu,
- teplota řezání,
- druh a tvar tvořících se třísek. [5]

Při hodnocení obrobiteľnosti (řezivosti) nejčastěji vycházíme z intenzity opotřebení břitu nástroje. K relativním charakteristikám vycházejících z intenzity opotřebování břitu patří především součinitel obrobiteľnosti  $K_v$ , jehož hodnota je dána poměrem:

$$K_v = \frac{V_{cT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{V_{cT/VB} \text{ etalonového materiálu}}$$

$V_{cT/VB}$  - řezná rychlost při trvanlivosti  $T$  pro opotřebení hřbetu  $VB$  [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ] [5]



---

**Značení obrobiteľnosti**

Je-li obrobiteľnosť posuzována hodnotou  $V_{cT}$ , tak se prakticky jedná o vyhodnocování velikosti objemu obrobeného materiálu, který je odebrán za jednotku času daným nástrojem při konstantním průřezu třísky v daném řezném prostředí. Pro potřeby určení obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály zařazeny do devíti základních skupin, označených písmeny malé abecedy:

- a - litiny,
- b - oceli,
- c - těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),
- d - lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e - plastické hmoty,
- f - přírodní nerostné hmoty,
- g - vrstvené hmoty,
- v - tvrzené litiny pro výrobu válců.

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti a ve vztahu k tomuto materiálu je pak stanovována relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálů celé skupiny.

Třídy obrobiteľnosti jsou označovány arabskými číslicemi umístěnými před písmeno. Index obrobiteľnosti jednotlivých tříd je odstupňován podle dané geometrické řady s kvocientem  $q = 1,26$  (třída etalonového materiálu má hodnotu  $q = 1$ ). Z toho vyplývá, že hodnota řezné rychlosti  $V_{cT}$  v dané třídě je vždy 1,26 krát vyšší nebo nižší, než v třídě sousední. Materiály v třídách s nižším číslem, než má třída etalonového materiálu, mají horší obrobiteľnost než etalonový materiál, nejlepší obrobiteľnost má pak materiál zařazený do třídy s nejvyšším číslem. [1]

## **2.2 CHARAKTERISTIKA KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ**

Tyto legované oceli představují samostatnou skupinu materiálů, kde hlavním legujícím prvkem je chrom. Charakteristickým znakem korozivzdorných ocelí, což vyplývá z jejich názvu, je jejich odolnost proti korozi. Všeobecně se tato odolnost zvyšuje, stejně jako odolnost proti oxidaci, se zvyšováním obsahu chromu. S překročením obsahu chromu v oceli 12 % dosáhne ocel pasivního stavu a tím skokově roste její odolnost proti velkému množství agresivních médií. Při dostatečném obsahu uhlíku lze korozivzdornou chromovou ocel kalit stejně jako ocel uhlíkovou, přičemž se dosahuje její vyšší pevnosti. [3], [10]

Převážná většina korozivzdorných ocelí obsahuje množství dalších legujících prvků, pomocí kterých se dosahuje lepší odolnosti proti korozi, změny struktury, vyšší pevnosti a dalších speciálních vlastností. Mimo chromu je dalším důležitým legujícím prvkem nikl, jenž má vliv na strukturní a mechanické vlastnosti materiálu a také podporuje kalitelnost. Při dostatečně vysokém podílu niklu v korozivzdorné oceli se mění její mechanické vlastnosti, jako jsou houževnatost, vysoká tepelná odolnost, svařitelnost a odolnost proti korozi. Molybden zvyšuje pevnost a odolnost proti korozi. Oceli obsahující molybden jsou často odolné proti kyselinám. Přítomnost dusíku v austenitických ocelích podstatně zvyšuje jejich pevnost. Titan a niob vážou uhlík, a tím ocel stabilizují. Měď zvyšuje korozní odolnost vůči některým kyselinám. Mezi další legující prvky patří mangan, hliník a křemík. [3]

### 2.2.1 Druhy korozivzdorných ocelí

Podle struktury se korozivzdorné oceli dají rozdělit do tří hlavních skupin:

#### **Feritické korozivzdorné oceli**

Ocel obsahující 17 % chromu je nejběžněji používaná feritická ocel s poměrně malým obsahem uhlíku do 0,10 %. Bez méně významných podílů křemíku a manganu je chrom jediným legujícím prvkem těchto ocelí. Pro získání lepších antikoročních vlastností existují feritické oceli dolegované molybdenem, jehož obsah se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 2 %. U feritických ocelí s vyšším obsahem chromu se obsah uhlíku pohybuje běžně okolo 0,2 %, tyto oceli se používají tam kde je rozhodující jejich odolnost proti korozi a kde negativní vliv síry nelze akceptovat. Feritické korozivzdorné oceli stabilizované titanem jsou odolné vůči mezikrystalové korozi a nejsou kalitelné. [3]

#### **Martenzitické korozivzdorné oceli**

Jestliže má korozivzdorná ocel dostatečně vysoký obsah uhlíku, lze tuto ocel kalit a tím získat martenzitickou strukturu. Obsah uhlíku u těchto ocelí se pohybuje v rozmezí 0,2 až 1 %, obsah chromu je 13 až 18 %. Tato ocel se často vyskytuje v žíhaném stavu, přičemž její feritická fáze obsahuje karbidy chromu. Obvykle se ocel obrábí v tomto stavu a kalení se provádí po opracování. Při kalení a následném popouštění vznikají karbidy, nastává ochuzení základní hmoty o chrom a tím se snižuje korozní odolnost oceli. Tyto oceli nachází uplatnění v oblastech, kde se požaduje vysoká odolnost proti opotřebení a trvanlivost bříty. [3], [10]

### **Austenitické korozivzdorné oceli**

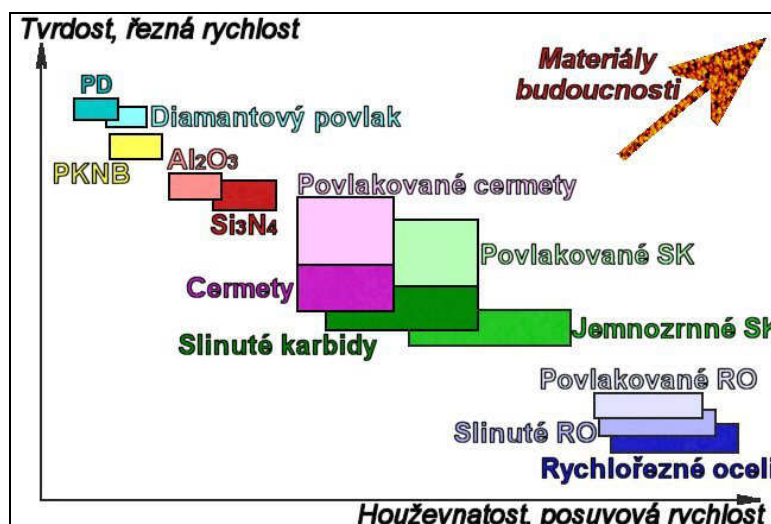
Tyto oceli jsou vhodné pro mnoho účelů a tvoří nejrozšířenější skupinu. Převahu nad ostatními druhy ocelí získávají hlavně díky své vysoké korozní odolnosti. Hlavním legujícím prvkem je chrom a nikl. Nejznámější austenitická korozivzdorná ocel obsahuje 18% chromu a 8 % niklu, ta poskytuje v rámci skupiny austenitických ocelí jako základ solidní odolnost proti korozi. Z tohoto původního typu oceli se vyvinula řada ocelí obsahující další legující prvek molybden, který zvyšuje korozní odolnost vůči kyselinám. Oceli s obsahem 18 % Cr, 8 % Ni a 18 % Cr, 8 % + 2% Mo tvoří absolutní většinu austenitických ocelí. Dále se vyskytují oceli legované mědí, u kterých jde především o kvalitativní zlepšení korozní odolnosti.

Obvykle se tyto austenitické oceli dodávají ve stavu žíhaném na měkko nebo žíhané na měkko a tažené za studena. Po tomto žíhání následuje jejich rychlé ochlazení, tím je zajištěna jejich korozní odolnost a obrobitelnost. Při příliš pomalém ochlazování se na hranicích zrn vytváří tvrdé a abrazivní karbidy. [3]

### **2.3 MATERIÁLY ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ**

V dnešní době jsou řezné nástroje pro strojní obrábění vyrobeny z různých druhů materiálů. Od nástrojových ocelí přes slinuté karbidy, cermety, řeznou keramiku až po supertvrdé materiály. Takto široký sortiment materiálů vznikl díky dlouholetému celosvětovému výzkumu v této oblasti a úzce souvisí s rozvojem konstrukčních materiálů a vývojem nových strojů. V blízké budoucnosti se neočekává objevení nového řezného materiálu, a proto se všichni výrobci nástrojů a nástrojových materiálů zaměřují hlavně na přesné vymezení aplikačních oblastí a zdokonalování technologie výroby již známých řezných materiálů.

Oblast, ve které lze určitý druh nástrojového materiálu aplikovat, je dána jeho fyzikálními, chemickými, tepelnými a mechanickými vlastnostmi. Obecně platí, že materiály s vysokou tvrdostí lze použít při vyšších řezných rychlostech s malým průřezem třísky, kde převládá tepelné zatížení nad mechanickým. Houževnaté materiály se používají při vyšších posuvových rychlostech, kde větší průřez třísky má za následek převládnutí mechanického zatížení nad tepelným.[7]



Obr. 2.1. Oblasti použití řezných materiálů. [2]

### 2.3.1 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (RO) jsou jedním s nejpoužívanějších nástrojových materiálů pro obrábění i přes stálé rozšiřování ostatních druhů řezných materiálů. Vývoji nových vysoce výkonných rychlořezných ocelí se stále věnuje značná pozornost. RO jsou vysoce legované nástrojové oceli, které se od ostatních druhů nástrojových ocelí liší obsahem legujících přísad a odlišnými podmínkami tepelného zpracování. V porovnání s uhlíkovými a legovanými nástrojovými oceli mají vyšší odolnost proti otěru a odolnost proti popouštění. Mají též vysokou tvrdost, kterou si udrží až do teploty okolo 600 °C. Díky těmto vlastnostem je u těchto ocelí možno používat dvou až třínásobně vyšší řezné rychlosti než u nástrojových ocelí uhlíkových [9]. Využívají se hlavně na nástroje s přesným ostřím, jako jsou šroubovitě vrtáky, protahovací nástroje, frézy, nástroje pro výrobu závitů a tvarové soustružnické nože. Specifických vlastností jednotlivých typů RO se dosahuje způsobem tepelného zpracování a zvoleným množstvím přísadových prvků a jejich kombinací. Vliv jednotlivých přísad je následující [4]:

**Wolfram** - základní legující prvek. Vytváří tvrdé a odolné karbidy vůči opotřebení.

**Molybden** - působí podobně jako wolfram, ale s dvojnásobnou silou. Molybdenové oceli se vyznačují vysokou houževnatostí.

**Vanad** - vytváří nejtvrdší karbidy a tím zvyšuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení, ale výrazně zhoršuje obrusitelnost nástrojů, také klesá houževnatost oceli.

**Kobalt** - zvyšuje odolnost proti popouštění a tvrdost za tepla.

**Chrom** - zlepšuje kalitelnost a prokalitelnost.

Jedno z možných jednoduchých rozdělení rychlořezných ocelí je právě podle obsahu hlavních legujících prvků. Jedná se o dvě základní skupiny, které se označují písmenem T a M a příslušným číslem, které nemá přímý určující význam.

**Skupina T** - zde jsou zařazeny nástrojové rychlořezné oceli wolframové s jeho 12 - 18 % obsahem. Tyto oceli jsou málo citlivé vůči přehřátí při kalení. U některých druhů ocelí této skupiny je dalším legujícím prvkem kobalt, který zvyšuje tvrdost za tepla.

**Skupina M** - sem patří nástrojové rychlořezné oceli molybdenové, ty obsahují 1,5 - 10 % wolframu a 3,5 - 10 % molybdenu. Jsou citlivější na přehřátí než oceli wolframové a proto se musí pečlivě dbát na dodržení předepsaných kalících teplot, které jsou v porovnání s vysokowolframovými oceli asi o 40 °C nižší. Molybdenové oceli mají nižší měrnou hmotnost a sklony k oduhličování. Jako i u předchozí skupiny může být dalším legujícím prvkem kobalt. [6]

### ***Tepelné zpracování rychlořezných ocelí***

Kromě chemického složení má na vlastnosti a výkon rychlořezných ocelí a z nich vyráběných nástrojů také značný vliv tepelné zpracování. Výšku kalící teploty ovlivňuje druh rychlořezné oceli i typ vyráběného nástroje. Je-li kalící teplota příliš vysoká, dochází ke zhrubnutí austenitického zrna, snížení houževnatosti a zvětší se křehkost. Vzhledem k nízkým vodivostem se před vlastním ohřevem na kalící teplotu musí rychlořezné oceli předehtřívát. Stupně předehtřevu se běžně volí 450, 600 a 880 °C. Prudkým ochlazením pod teplotu asi 200 °C vzniká martenzit. Po kalení se ocel popouští na vysoké teploty 525 - 625 °C [3]. Doba setrvání na popouštěcí teplotě se volí zpravidla 1 až 2 hodiny. Pro tvarově jednoduché nástroje pro hrubování, které jsou vystaveny značnému tepelnému namáhání, je zapotřebí volit co nejvyšší kalící teploty (1220 - 1250 °C), i když se sníží houževnatost. Pro nástroje dokončovací, nástroje tvarově složité a nástroje s jemnými břity se musí volit nižší kalící teploty (1190 - 1220 °C) i za cenu snížení odolnosti proti popouštění [11].

### ***Vývoj rychlořezných ocelí***

Vývoj je charakterizován rozšiřováním výroby rychlořezných ocelí na bázi molybdenu a omezováním výroby ocelí se zvýšeným obsahem wolframu. Vývoj se také zaměřuje na oceli se zvýšeným obsahem uhlíku.

V budoucnosti se stále více budou prosazovat rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií. RO vyrobené touto technologií se vyznačují homogenní strukturou a vývojem nestandardních chemických variant. Mezi výhody RO vyrobených touto metodou patří:

- homogenní struktura,
- dobré technické vlastnosti (brousitelnost, leštitelnost, svařitelnost),
- zvýšená tvarová a rozměrová přesnost při tepelném zpracování,
- zlepšená houževnatost,
- nižší materiálová, ekonomická a ekologická náročnost.

### 2.3.2 Slinuté karbidy

Mezi významné objevy první poloviny 20. století patří objevení materiálu řezné části obráběcího nástroje, který se nazývá slinutý karbid [6]. Slinuté karbidy (SK) se vyrábí práškovou metalurgií a jejich základními vlastnostmi je vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení při teplotách 700 až 1000 °C. Mezi další vlastnosti patří nízká pórovitost, odolnost proti korozi, dobrá pevnost v tlaku, špatná tepelná a elektrická vodivost a malý součinitel tepelné roztažnosti. Tento materiál umožňuje pěti až osmi násobné zvýšení řezné rychlosti, než dovolují rychlořezné oceli [8]. Nástrojové oceli se vyrábějí tavením a tím se liší od slinutých karbidů, které se vyrábějí spékáním. Při spékání nedosáhnou teploty tavení všechny složky SK. Jde tedy o pevné spojení směsi prášků, obsahující velmi tvrdé karbidy kovů s vysokým bodem tavení. SK se užívají převážně ve formě břitových destiček a dnes tvoří největší část všech materiálů využívaných pro výrobu řezných nástrojů.

#### Nepovlakované slinuté karbidy

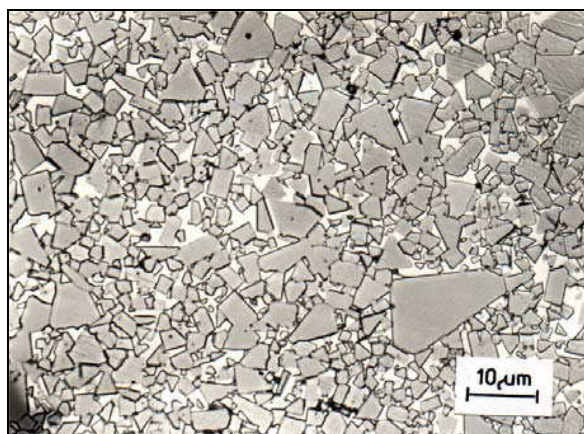
Vyrábí se z různých karbidů a kovového pojiva. Základní druhy karbidů pro výrobu SK jsou karbid wolframu (WC) a karbid titanu (TiC), jako pojivo se ve většině případů používá kobalt (Co). Jako další přísady se používají karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ).

Vzhledem ke svému chemickému složení můžeme běžné SK rozdělit na:

1. **skupina K**, jednokarbidové ( $\text{Wc} + \text{Co}$ ),
2. **skupina P**, dvojkarbidové ( $\text{Wc} + \text{TiC} + \text{Co}$ ),
3. **skupina M**, kombinované ( $\text{Wc} + \text{TiC} + \text{TaC} + \text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{Co}$ ). [5]

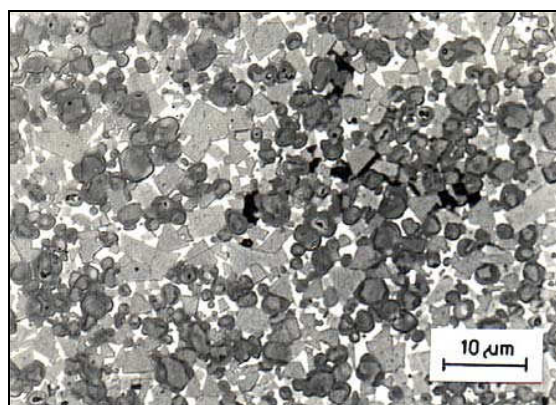
Tyto hlavní skupiny, které se dělí podle příslušného písmene a barvy, se dále dělí do podskupin podle klasifikačního čísla např. P10, P25, M10, M40, K05, K20. Vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojícího kovu, nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu a vymezuje oblast jeho aplikací pro nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti. A naopak, čím je číslo nižší, tím je možné obrábět vyšší řeznou rychlostí a materiál má vyšší otěruvzdornost. S vyšším číslem také roste houževnatost a pevnost v ohybu. U skupin N, S, H rostoucí číslo podskupiny znamená stejnou změnu vlastností jako u skupin P, M a K.

**Skupina K** se používá pro obrábění materiálů tvořících krátkou a drobnou třísku, řezná síla je relativně nízká. Převládá abrazivní opotřebení nástroje. Jedinou tvrdou strukturní složku této skupiny tvoří karbid wolframu. Skupina se užívá hlavně pro obrábění litiny a nekovových materiálů.



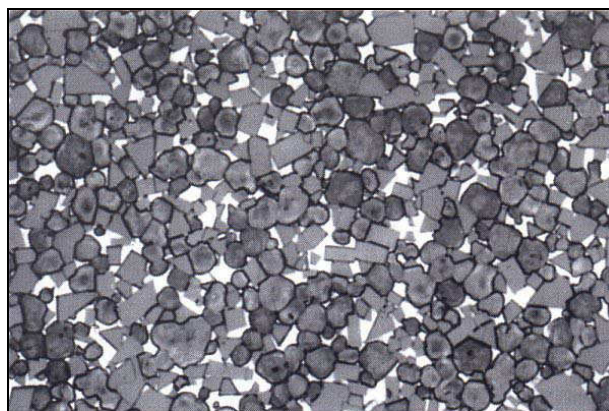
Obr. 2.2 Slinutý karbid skupiny K. [2]

**Skupina P** se používá pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, řezná síla je obvykle velká. Tato skupina je určena pro obrábění, kde převládá difuzní a chemický otěr, který působí hlavně na čele nástroje. SK této skupiny se užívají hlavně pro obrábění uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli.



Obr. 2.3 Slinutý karbid skupiny P. [2]

**Skupina M** má univerzální použití, používá se pro obrábění materiálu, které tvoří krátkou i dlouhou třísku. Má relativně vysokou houževnatost, čehož se využívá u hrubovacího obrábění. Je vhodná pro obrábění většiny těžkoobrobitelných materiálů.



Obr. 2.4 Slinutý karbid skupiny M. [2]

**Skupina N** je určena k obrábění materiálů z neželezných kovů, zejména hliníku a dalších neželezných kovů, jejich slitin a nekovových materiálů.

**Skupina S** se používá na obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu, kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin.

**Skupina H** je vhodná pro obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí, tvrzených a kalených litin. Dalším velmi důležitým kritériem odolnosti tohoto materiálu vůči opotřebení je jeho tepelná odolnost.

Tab. 2.1 Rozdělení obráběných materiálů do jednotlivých skupin SK. [14]

<b>P</b>	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitinové skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozi-vzdorné oceli (třídy 17... lité 4229...)
<b>M</b>	austenitické a feriticko-austenitické oceli korozi-vzdorné, žáruvzdorné a žárovevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné



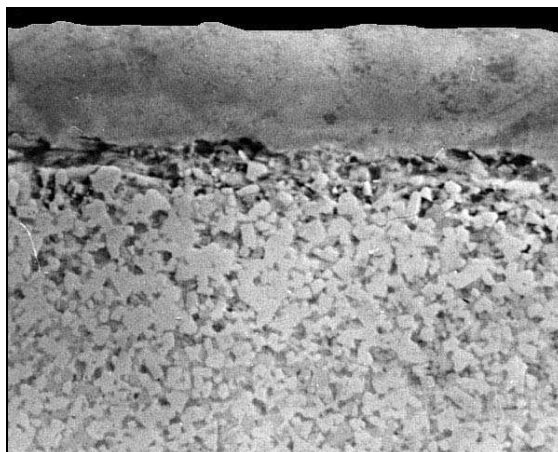
<b>K</b>	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)
<b>N</b>	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
<b>S</b>	speciální žárovevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
<b>H</b>	zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 ÷ 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 58

### Povlakované slinuté karbidy

Povlakované slinuté karbidy jsou dalším stádiem ve vývoji a výrobě slinutých karbidů pro obrábění. Skládají se z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního povlaku, což umožňuje dosažení vyšší řezné a posuvové rychlosti a větší úběr třísky, než u nepovlakovaných SK. Hlavním úkolem povlaků je snížit součinitel tření, snížit ulpívání třísek na čele, zamezit vzniku nárůstků a zejména prodloužit životnost nástroje. V současné době je každý rok vyvíjeno a zdokonalováno mnoho druhů povlakovaných SK pro různé řezné aplikace. Jednotlivé materiály se od sebe navzájem liší tloušťkou a druhem povlaku, kombinací vrstev a metodou povlakování. Jako první se na trhu objevily povlaky z TiC, s malým časovým odstupem byly vyvinuty povlaky typu TiN a TiCN, povlaky  $\text{Al}_2\text{O}_3$  přišly na trh nejpозději.

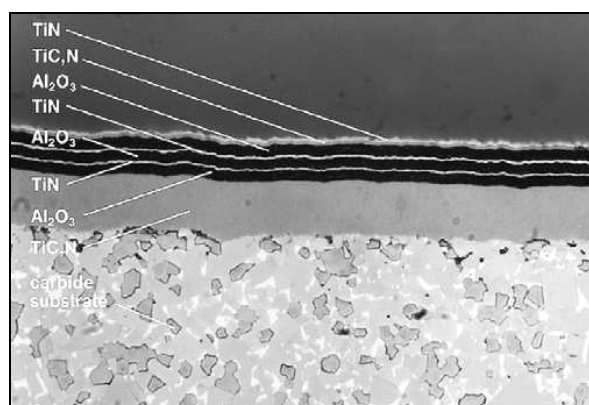
*Obvykle jsou uváděny tyto vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů:*

- 1. generace** - jednovrstvý povlak (výhradně TiC) s tloušťkou asi 7  $\mu\text{m}$ . Mezi podkladem a povlakem se vytvářel eta-karbid důsledkem nedokonalé technologie výroby. To vedlo k odlupování povlaku a následnému znehodnocení nástroje.
- 2. generace** - jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez eta-karbidu na přechodu podklad - povlak. Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaku o větší tloušťce (až 13  $\mu\text{m}$ ) bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje. [1]



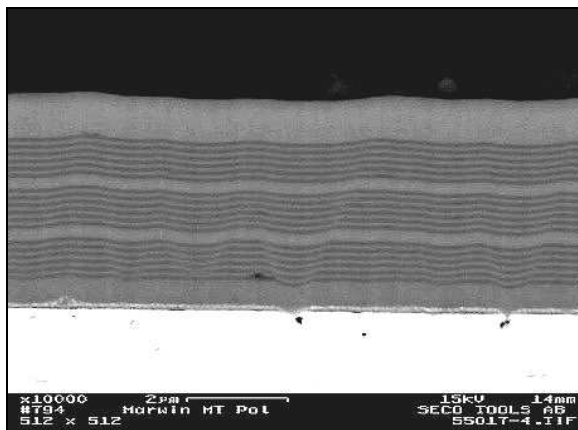
Obr. 2.5 Povlak 2. generace. [2]

3. **generace** - vícevrstvý povlak (dvě až tři, případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Na podklad jsou obvykle jako první nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení a jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu, ale požaduje se od nich zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení.



Obr. 2.6 Povlak 3. generace. [2]

4. **generace** - speciální vícevrstvý povlak je často složený z více jak 10 vrstev a mezivrstev s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Užívají se stejné materiály jako u 3. generace. Výroba takového povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení podle potřeb technologického postupu povlakování. Vůbec nejnovější povlaky této generace mají mezi podkladem a vlastním povlakem vrstvu speciálního materiálu typu WC-Co.



Obr. 2.7 Povlak 4. generace. [2]

### *Metody povlakování slinutých karbidů*

Povlakované SK se vyrábí tak, že na podklad běžných SK typu K, P nebo M (v dnešní době se již povlaky většinou nanášejí na podkladové SK, vyrobené speciálně k tomuto účelu) se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Takový povlak ve formě tenké vrstvy je tvrdší i pevnější, než stejný homogenní materiál v jakékoli jiné formě. Výhodné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, může mít jemnější zrnitost i o více řádů než jeden, má méně strukturních defektů a tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. [1]

**Metoda PVD** - (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) je charakteristická nízkými pracovními teplotami pod 500 °C. Původně byla metoda vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, protože nízká teplota nezpůsobila tepelné ovlivnění nástroje. V poslední době nachází tato metoda uplatnění také pro povlakování slinutých karbidů. Povlak je vytvářen napařováním, napařováním nebo iontovou implantací.

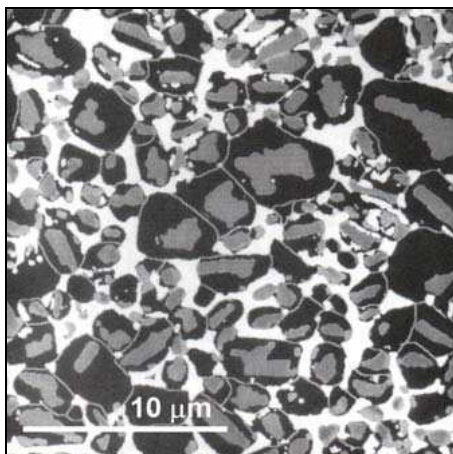
**Metoda CVD** - (Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vyšších teplot (1000 - 1200 °C) [7]. Tato metoda je hlavní metodou povlakování SK a může být provedena ve třech variantách a to tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná nebo fotonově indukovaná. Hlavními výhodami metody jsou skvělá adheze povlaku k podkladovému materiálu a vysoká hustota povlaku.

**Metoda PCVD** - (Plazma Chemical Vapour Deposition) se od běžné CVD metody liší nízkými pracovními teplotami (600 °C). Princip metody vytváření v povlaku v plynné páře se nemění. Při této metodě se zvýší energie plynné atmosféry v povlakovací komoře pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. [2] Z parametrů pulzní plazmy se reguluje hlavně délka pulzu, délka a výkon pulzní mezery.

**Metoda MTCVD** - (Middle Temperature Chemical Vapour Deposition) umožňuje použití podstatně nižších teplot při nanášení povlaku než u metody CVD (700 - 850 °C) [1]. Hlavní výhodou MTCVD technologie je, že v důsledku nižší reakční teploty dochází ke značnému nárůstu houževnatosti a podkladové destičky z SK jsou odolnější proti rázům a lze je použít při větších posuvových rychlostech.

### 2.3.3 Cermety

Tento řezný materiál se vyrábí obdobně jako SK práškovou metalurgií. Cermety obsahují tvrdé částice TiC a TiN v kovovém pojivu (Ni, Mo, Co). Skladba směsi určuje teplotu spékání, která se pohybuje v rozmezí 1600 - 1800 °C. Název je odvozen od počátečních písmen slov CERamic (keramika) a METal (kov), má tak označovat materiál tvrdých keramických částic v houževnatém kovovém pojivu.



Obr. 2.8 Struktura cermetu na bázi TiCN. [2]

Cermety mají vysokou odolnost proti opotřebení na čele i hřbetu, vysokou tvrdost za tepla, dobrou chemickou stabilitu, malý sklon k oxidačnímu opotřebení a k tvorbě nárůstku. Jejich hlavní nevýhodou je nízká houževnatost, která je sice neustále zvyšována, ale přesto nedosahuje hodnot obvyklých u slinutých karbidů. Cermety jsou vhodné pro dokončovací obrábění, protože jejich tvrdá fáze vytváří při obrábění plochy s velmi nízkou drsností povrchu a díky velké trvanlivosti i vysokou přesnost rozměrů obrobku. S výhodou je lze použít i pro obrábění korozivzdorných ocelí, kde vykazují vyšší trvanlivost, než nepovlakované slinuté karbidy. Tvarový sortiment cermetových řezných destiček je obdobný jako u SK, destičky jsou ale většinou dostupné v přesnějším provedení.

Cermety se také vyskytují v povlakované formě z důvodu prodloužení trvanlivosti bříty nebo zvýšení řezné rychlosti. Pro povlakování se nejčastěji používá technologie PVD a méně často pak technologie CVD. PVD povlak je pro cermety nejvhodnější, protože povlak nanášený metodou CVD způsobuje často v cermetovém substrátu vznik vlasových trhlinek, které mohou být příčinou výlomu bříty.

#### 2.3.4 Řezná keramika

Intenzivní výzkumnou činností byly výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů. Tím bylo umožněno podstatné rozšíření jejich aplikace ve strojírenské výrobě. Vybrané keramické řezné materiály se úspěšně používají pro výrobu nástrojů na třískové obrábění. Hlavní výhody řezné keramiky jsou:

- vysoká tvrdost,
- odolnost proti mechanickému namáhání,
- odolnost proti působení vysokých teplot,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi,
- nízká měrná hmotnost,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- ekologická nezávadnost,
- poměrně nízká cena.

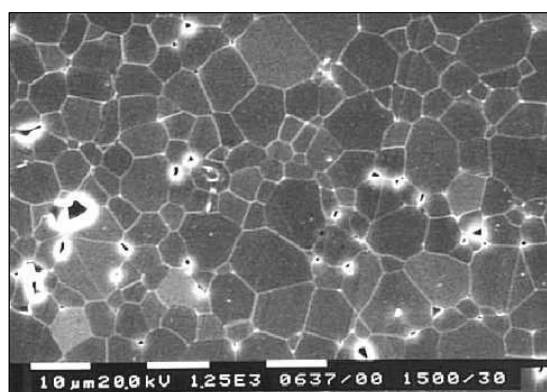
První keramický materiál na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  použitelný pro řezný nástroj byl vyvinut v období 2. světové války jako pokus o náhradu slinutých karbidů WC-Co. Nízká houževnatost a velký rozptyl vlastností způsobily, že k významnějšímu rozšíření tohoto materiálu nedošlo. Na základě intenzivního výzkumu došlo koncem 50. let k rozšíření keramiky na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Byly odstraněny hlavní nedostatky jako hrubozrnná struktura, nízká ohybová pevnost a nízká odolnost proti teplotním rázům. Oxid hlinitý má z nástrojových materiálů nejlepší termochemickou stabilitu a vysokou odolnost proti opotřebení, ovšem nízkou odolnost proti vydrolování ostří.

V 70. letech byly vyvinuty keramiky typu  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ , které vykazovaly vyšší odolnost proti vydrolování. Také ohybová pevnost řezné keramiky se zvýšila z původních 400 - 500 MPa na 1000 MPa. Jedná se o dnes nejrozšířenější řeznou keramiku, která se zasloužila o vstup keramických VBD na trh obráběcích řezných nástrojů. Slinovací proces byl postupně změněn z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), a to za účelem snížení ceny nástroje a zvýšení produktivity výroby.

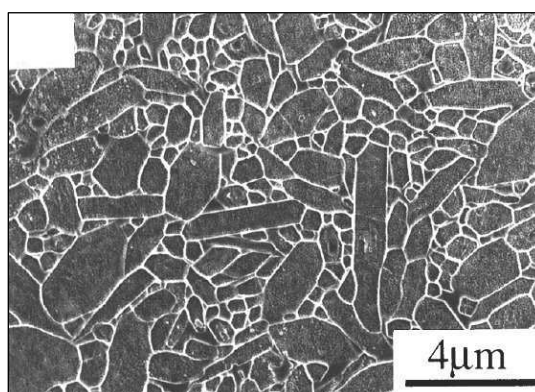
V polovině 80. let byly vyvinuty kompozity  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vyztužené vlákny whiskery ( $\text{SiC}$ ). Karbid křemíku má sice tendenci reagovat se slitinami železa, což zapříčiňuje větší opotřebení nástroje, ale na druhé straně přidáním jeho vláken se výrazně zvýší odolnost proti vydrolování a vylamování ostří v důsledku zpevnění. Výsledkem jsou vynikající řezné výkony těchto materiálů při obrábění superslitin, kde hrozí nebezpečí vylamování ostří. Vedle řezné keramiky na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se objevily i první keramické nástroje na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Ve srovnání s oxidickou keramikou se dají používat až při dvojnásobné posuvové rychlosti. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebování, zejména při obrábění ocelí a tvárné litiny.

Keramické materiály pro výrobu vyměnitelných břitových destiček řezných nástrojů se obvykle rozdělují následovně:

- keramika na bázi oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),
- čistá (oxidická) keramika - 99,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- směsná keramika -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$ ,
- vyztužená keramika-  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$  ...,
- keramika na bázi nitridu křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) -  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$ , sialony. [1]



Obr. 2.9 Keramika  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . [2]



Obr. 2.10 Keramika  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . [2]

Proces výroby keramických řezných destiček je podobný výrobě slinutých karbidů. Na rozdíl od SK ale keramické břitové destičky neobsahují žádnou pojící fázi a tato skutečnost výrobu velmi znesnadňuje a klade velké nároky na výrobní zařízení. Musí být také dodrženy všechny předepsané parametry technologického postupu výroby s ohledem na lisování za studena a za tepla (1700 °C, 300 barů). Základní surovinou pro výrobu jsou čisté a jemnozrnné prášky, které se mísí, tvarují, suší, slinují (nad 1600 °C) a nakonec upravují do požadovaných tvarů. [4]

Keramika se uplatňuje v oblastech použití, které dříve pokrývaly slinuté karbidy, zejména při soustružení a frézování šedé litiny, žáruvzdorných a žáropevných slitin, kalených ocelí, tvárné a temperované litiny a do určité míry i ocelí. [4]. Keramické řezné destičky se dají také povlakovat a to metodou CVD i PVD, i když povlakování není zcela běžné jako u slinutých karbidů. Hlavním úkolem povlaku je zvýšení houževnatosti pomocí snížení šíření mikrotrhlinek základního materiálu. V budoucnu se dá prosazování povlakovaných keramických destiček očekávat stále větší měrou.

## 2.4 MATERIÁLY PRO OBRÁBĚNÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Korozivzdorná ocel je výrobcí obráběcích nástrojů řazena mezi jedno z hlavních představitelů těžkoobrobitelných materiálů. Tento materiál je vyznačován unikátními fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi, pro něž je využíván v různých průmyslových odvětvích jako např. v potravinářském, papírenském nebo medicínském průmyslu.

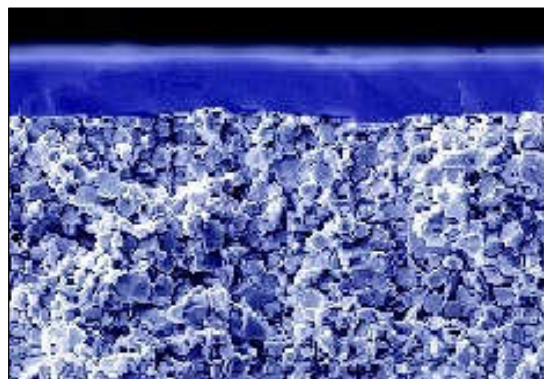
Při obrábění korozivzdorných ocelí se výrazně zvyšuje mechanické a tepelné zatížení břitu nástroje. Vývoj nástrojů pro obrábění korozivzdorných ocelí směřuje především k dalším úpravám geometrie břitu a k novým modifikacím karbidových řezných materiálů a speciálním povlakům.

Jako jedna z možností volby materiálu pro obrábění korozivzdorných ocelí se nabízí nová řada břitových destiček třídy GC1040 vhodná pro všechny frézovací aplikace, kterou uvedl na trh jeden z předních světových výrobců kovoobráběcích nástrojů Firma Sandvik - Coromant. Vyměnitelné břitové destičky jsou vyrobeny z jemnozrnného slinutého karbidu s vysokou houževnatostí, jenž je vyznačován výjimečnou odolností proti tvorbě hřebenových trhlin a celkovému lomu. Tyto destičky si zachovávají dlouhou ostrost břitu a podávají spolehlivé výkony i v obtížných podmínkách, jako je obrábění duplexních nebo austenitických korozivzdorných ocelí, v případě potřeby je však lze použít pro frézování

všech typů korozivzdorných ocelí. Břitové destičky třídy GC1040 jsou vyznačovány vysokou spolehlivostí v nestabilních podmínkách a bezpečností v bezobslužné výrobě. [15]



Obr. 2.11 Břitové destičky třídy GC1040. [15]



Obr. 2.12 Mikrostruktura SK třídy GC1040. [15]



### 3. SOUČASNÁ TECHNOLOGIE VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI

Stávající technologie zahrnuje výrobu jednotlivých částí zadního dílu nátoky. Všechny části nátoky jsou vyřezány z nerezových tabulí plechu CNC plazmovým řezacím strojem. Následuje ofrézování ploch a úkosů pro svařování pomocí frézek a úkosovacího zařízení.

Dalším krokem je ohýbání některých plechů potřebných k výrobě dílce. Plechy tloušťky 3 mm, které jsou použity k zakrytí dílu nátoky, jsou ohýbány na hydraulickém lisu LODD 200. Jelikož firma Papcel a.s. nedisponuje strojním vybavením potřebným k ohýbání plechů větších tloušťek, je ohýbání vypáleného plechu tloušťky 18 mm provedeno v jedné z kooperujících firem.

Výrobní postupy jednotlivých dílů nejsou podrobněji rozebírány, jelikož výroba dílů není nijak složitá a nedává prostor pro další racionalizaci.

Po zhotovení všech dílů dle výkresové dokumentace je dalším krokem jejich svaření ve směsi plynu ( $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ ), do jednoho celku. Tím je dosaženo vzniku základního tvaru zadního dílu papírenského nátoky.

Následné obráběcí operace jsou již prováděny na svařeném dílu papírenského nátoky o jeho celkové hmotnosti 943 kg a délce 4350 mm. Velké rozměry a hmotnost dílce kladou vysoké nároky na manipulační zařízení a na jeho obsluhu, proto je samotná manipulace mnohem náročnější než u malých součástí. Z těchto důvodů je kladen důraz na to, aby dráha, kterou dílec urazí mezi jednotlivými pracovišti, byla co nejkratší a počet operací provedených na jedno upnutí byl co největší.

Nejsložitější operací, které je zároveň věnována i největší pozornost, je obrábění stěn zadního dílu nátoky, které budou přicházet do styku s papírenskou vodolátkou. Aby ve výrobním provozu vodolátka a jiné nečistoty na stěnách neulpívaly, je předepsaná výrobní drsnost povrchu těchto stěn  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Plochy jsou obrobeny hoblováním, po něm následuje broušení ploch brusnými pásy. Broušením se však nedosáhne požadované drsnosti, proto jako dokončovací operace následuje elektrochemické leštění. I tady je ale dosažení drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  velmi problematické a i při použití této technologie se naměřená hodnota drsnosti  $R_a$  pohybuje kolem  $0,3 \mu\text{m}$ , čímž vznikají komplikace při předání hotového dílu zákazníkovi. Mezi další technologie použité při výrobě zadního dílu nátoky patří frézování, vrtání otvorů a řezání závitů. Podrobnější stav současné technologie výroby dané

součásti a s ní spojené použití strojů a nástrojů s jejich řeznými parametry jsou uvedeny v následující kapitole.

### 3.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Celý zadní díl nátku papírenského stroje je sestaven ze součástí vyrobených z korozivzdorných ocelí. Některé části zadního dílu nátku budou po uvedení do provozu přicházet do přímého kontaktu s papírenskou vodolátkou obsahující různé chemikálie, což zvyšuje její agresivitu. Celý nátok pak pracuje v parném a vlhkém prostředí, což také způsobuje narušování materiálu, z kterého je vyroben. Použití kvalitních materiálů zaručuje vysokou stabilitu celého nátku a vysokou odolnost proti tepelným vlivům. Korozivzdorné oceli kladou vyšší nároky na obrábění, než běžné nelegované a nízkolegované oceli, protože vyšší podíl legujících prvků zvyšuje nejčastěji pevnost materiálu a tím se zhoršuje jeho obrobiteľnost. To se projevuje delšími výrobními časy, vyššími požadavky na obráběcí stroje i nástroje a klade důraz na správnou volbu parametrů pro obrábění.

#### ***Materiál 1.4404 (ekvivalentní s 17 349)***

Jedná se o korozivzdornou, austenitickou, svařitelnou ocel s velmi nízkým obsahem uhlíku, odolnou proti mezikrystalické korozi, která je vhodná pro stavbu chemických zařízení včetně tlakových nádob. Ocel je vhodná hlavně pro neoxidační prostředí obsahující silné organické (mravenčí, octová) a silné anorganické (sírová, fosforečná) kyseliny při nižších koncentracích až do středních teplot. V podmínkách, které vyvolávají mezikrystalickou korozi, je odolná včetně svarových spojů při dlouhodobém působení zvýšených teplot do 350 °C.

**Tab. 3.1 Chemické složení materiálu 1.4404.**

Materiál	Chemické složení [%]							
	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
Ocel 1.4404	0,03	16,5-8,5	2,0	2,0-2,5	11,0-14,0	0,045	0,030	1,0

**Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti materiálu 1.4404.**

Materiál	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tvrdość HB	Tažnosť A <sub>5</sub> [%]
Ocel 1.4404	530 až 680	240	max. 190	45

**Materiál 1.4541 (ekvivalentní s 17 248)**

Jedná se o korozivzdornou, austenitickou stabilizovanou ocel se zaručenou svařitelností odolnou proti mezikrystalické korozi. Je vhodná pro stavbu chemických zařízení včetně tlakových, pro prostředí oxidační povahy, pro silné anorganické kyseliny (např. sírovou) jen při velmi nízkých koncentracích a to v oblasti normálních teplot. Je vhodná pro slabé organické kyseliny do středních koncentrací a středních teplot. Je možno ji také použít pro prostředí, vyžadující vysokou čistotu (farmaceutický a potravinářský průmysl).

**Tab. 3.3 Chemické složení materiálu 1.4541.**

Materiál	Chemické složení [%]						
	C	Cr	Mn	Ni	P	S	Si
Ocel 1.4541	0,1	17,0 -19,0	2,0	9,5 -12,0	0,045	0,030	1,0

**Tab. 3.4 Mechanické vlastnosti materiálu 1.4541.**

Materiál	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tvrдость HB	Tažnost A <sub>5</sub> [%]
Ocel 1.4541	520 až 720	230	max. 190	40

### 3.2 SOUČASNÝ POSTUP VÝROBY ZADNÍHO DÍLU NÁTOKU PAPIRENSKÉHO STROJE

- číslo výkresu 6218.208.000 S1

- Zámečnické práce** - Připravit pracoviště. Kontrolovat rozměry a přídavky pro opracování. Na pracovní plochu ustavit a vyrovnat POZ. 1 - 7, rozměřit místa pro čela a žebra, stehovat a následně nechat svařit. Po svaření svary upravit a zkontrolovat rovinnost a případně rovnat (montážní lis 80 t). Rozměřit, dolícovat a stehovat do celkového tvaru POZ. 8, 9, 14, 15. Po svaření upravit svary. Stehovat pomocné plechy pro upnutí pro operaci č. 6. Při stehování jeden pomocný dělník.
- Ruční svařování v ochranné atmosféře plynu CO<sub>2</sub> + Ar** - Postupně svařovat celý tvar nosníku - vodotěsně. Konzultovat se svařovacím technologem. Stupeň jakosti svaru C dle ČSN EN ISO 5817.
- Zámečnické práce** - Rovnat svařenec (montážní lis 80 t), jeden pomocný dělník. Stupeň přesnosti svařence - toleranční třída B dle ČSN EN ISO 13 920.

- 
- 4) **Práce při odstraňování vnitřního pnutí** - Vibračně odstranit vnitřní pnutí, VSR - 3.
  - 5) **Rýsovačské práce** - Prorýsovat pro opracování.
  - 6) **Hoblovka** - Hoblovat plochu POZ. 1 s přídavkem 1mm na plochu.
  - 7) **Horizontální vyvrtávačka FCW 150** - Upnout na otočný stůl za plochu POZ. 1, vyrovnat, pomocí křížové frézovací hlavy frézovat na čisto pod úhlem 15° POZ. 6, vrtat otvory 19 x Ø10,2 mm, následně řezat závity 19 x M12. Výklon křížové hlavy 60°, frézovat úkos na ploše POZ. 1,8. Změřit teplotu kusu a pomocí výpočtu stanovit délkové míry pro frézování čel. Frézovat čela na stanovenou délku ( $L = 4350 + \text{tolerance}$ ), vrtat otvory 16 x Ø14 mm, následně řezat závit 16 x M16 - obě čela kusu.
  - 8) **Kontrolorské práce** - Při předchozí operaci změřit teplotu kusu a pomocí výpočtu stanovit délkové míry pro frézování čel. Po ofrézování v předchozí operaci změřit teplotu kusu a délkovou míru a dle naměřených hodnot vystavit protokol.
  - 9) **Zámečnické práce** - Odstranit otřepy po frézování. Odstranit pomocné plechy pro upnutí. Provést montáž POZ. 10, 11, 12, 13.
  - 10) **Ruční svařování v ochranné atmosféře plynu CO<sub>2</sub> + Ar** - Kolíky POZ. 10 pojistit svarem.
  - 11) **Hoblovka** - Hoblovat plochy POZ. 1, pomocí přídavné pásové brusky brousit pásy 3M 777F postupné zrnitosti P60, P80, P100, P120, P150, P180 a P240 na  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Nepoškodit povrch, uložit do přepravního obalu.
  - 12) **Kooperace (elektrochemické leštění)** - Elektrochemicky leštit povrch POZ. 1.
  - 13) **Kontrolorské práce** - Konečná kontrola rozměrů.

### 3.3 POPIS POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ A STROJŮ

V následující kapitole jsou popsány technologie použité při stávající výrobě zadního dílu nátku. Kromě uvedených technologií a strojů je dále při výrobě použit ohraňovací hydraulický lis pro ohýbání plechů a vibrační zařízení pro odstranění vnitřního pnutí. Procesní kapalina použitá u třískového obrábění má název Cimstar 560. Jedná se o univerzální procesní kapalinu pro střední až těžké aplikace.

### 3.3.1 Dělení materiálu

Jednotlivé části zadního dílu nátku jsou strojně vypáleny z nerezových tabulí plechu na CNC plazmovém řezacím stroji CORTA P3600, stroj je mimo plazmového hořáku vybaven třemi kyslíko-acetylenovými hořáky. Maximální rozměry materiálu páleného na tomto stroji mohou být 2500 x 6000 mm, o maximální tloušťce 60 mm pro nerezový materiál a pro ocel pak o maximální tloušťce až 200 mm.



Obr. 3.1 CNC řezací plazmový stroj. [13]

### 3.3.2 Frézování úkosů

K frézování úkosů u vypálených dílů je použito úkosovacího automatu OMCA ART. 900. Stroj pracuje na principu frézování materiálu čelní frézou. Úkosovací automat lze použít pro frézování úkosů u velkých tabulí plechu, kdy se stroj pohybuje podél obráběného materiálu po vlastním podvozku. Při frézování úkosů u menších obrobků se stroj postaví na vlastní stojan a po montáži pracovní desky se po ní vkládají kusy ručně. Maximální šířka úkosu, kterou stroj dokáže vyrobit, je 60 mm na materiálu o maximální tloušťce 40 mm. Stroj dokáže vyrobit úkos v rozmezí 15° - 60° s rychlostí posuvu až 1m/min.

### 3.3.3 Svařování

Svařování veškerých částí zadního dílu papírenského nátku je provedeno metodou 135 (MAG) ve směsi plynu ( $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ ). K tomu je použito svařovacího poloautomatu KEMPPI PRO 4200 Evolution. Přídavný materiál je od firmy ESAB a má označení OK Autrod 316LSi, Ø 1,2 mm. Materiál je určen pro svařování nerezových a vysokolegovaných ocelí.



Obr. 3.2 Svařovací zařízení KEMPPI PRO 4200 Evolution.

### 3.3.4 Hoblování

Dlouhé a rozměrné plochy dílce jsou obráběny hoblováním na dvoustojanové hoblovce HECKERT. Hoblovka je 7200 mm dlouhá, široká 1600 mm a vysoká je 1500 mm. Je vybavena dvěma suporty na příčnicku a dvěma podélnými suporty uloženými na stojanech. Rozměry jejího stolu pak jsou 8280 x 1250 mm.

Hoblování je prováděno ve dvou fázích. V první fázi je dílec obroben pouze na hrubo s ponecháním přídavku materiálu 1 mm, který je obroben ve druhé fázi při dokončovacím hoblování. V zápětí následuje broušení hoblovaných ploch na témže pracovišti. Mezi oběma fázemi hoblování je dílec přemístěn na pracoviště CNC horizontální vyvrtávačky Škoda FCW 150, kde je dále obráběn.



Obr. 3.3 Hoblovka HECKERT.

K hoblování je použit hoblovací nůž z rychlořezné oceli s označením SP 50 x 32 223651.



Obr. 3.4 Použitý hoblovací nůž.

*Řezné parametry pro hoblování:*

Řezná rychlost:  $v_c = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Šířka záběru ostří:  $a_e = 2 \text{ mm}$

Posuv na dvojzdvih:  $f_{dz} = 0,4 \text{ mm}$

*Řezné parametry pro dokončovací hoblování:*

Řezná rychlost:  $v_c = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Šířka záběru ostří:  $a_e = 1 \text{ mm}$

Posuv na dvojzdvih:  $f_{dz} = 0,2 \text{ mm}$

### 3.3.5 Frézování dílu, vrtání a řezání závitů

Všechny uvedené operace jsou realizovány na CNC horizontálním frézovacím a vyvrtávacím stroji Škoda FCW 150. Blíže je stroj popsán v návrhu nové výrobní technologie součásti, kde bude rozšířeno jeho použití. Ve stávající technologii výroby je stroj použit k frézování méně rozměrných ploch obrobku. Mezi frézované plochy patří i čela obrobku. Před jejich vlastním frézováním je nutno změřit teplotu kusu a výpočtem stanovit délkovou míru pro jejich frézování. Jelikož rozměr délky dílu 4350 mm je tolerovaný, musí být čela frézována s vysokou přesností. Stroj je dále použit k zhotovení všech závitů v součásti.

#### *Nástroje použité pro frézování*

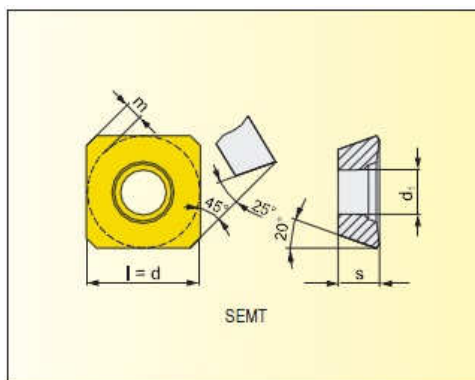
K frézování je použita čelní fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Pramet Tools a. s.

Čelní fréza Ø100 mm, typ S45SE09F-C, počet zubů 10.



Obr. 3.5 Čelní fréza S45SE09F-C od firmy Pramet Tools a. s. [14]

Použitá vyměnitelná břitová destička SEMT 09T3AFSN.



Obr. 3.6 Vyměnitelná břitová destička SEMT 09T3AFSN. [14]

Tabulka 3.5 Rozměry VBD SEMT 09T3AFSN. [14]

Označení	Rozměry [mm]				
SEMT 09T3AFSN	l	d	s	d <sub>1</sub>	m
	9,525	9,525	3,97	3,5	1,212

Destička je opatřena povlakem 8230. Jedná se o univerzální řezný materiál vhodný pro střední řezné rychlosti. [14]

### ***Řezné parametry při frézování:***

#### **Hrubovací frézování**

Řezná rychlost:  $v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Otáčky nástroje:  $n = 200 \text{ min}^{-1}$

Posuv na zub:  $f_z = 0,075 \text{ mm}$

Hloubka řezu:  $a_{p \max} = 2 \text{ mm}$

Šířka řezu:  $a_{e \max} = 70 \text{ mm}$



**Dokončovací frézování**

Řezná rychlost:  $v_c = 78 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Otáčky nástroje:  $n = 250 \text{ min}^{-1}$

Posuv na zub:  $f_z = 0,06 \text{ mm}$

Hloubka řezu:  $a_{p \text{ max}} = 0,5 \text{ mm}$

Šířka řezu:  $a_e \text{ max} = 70 \text{ mm}$

***Nástroje použité k zhotovení závitů v zadním dílu nátoku papírenského stroje***

Pro vrtání otvorů a následné řezání závitů jsou použity nástroje s rychlořezné oceli značky GARANT.

**Nástroje použité ke zhotovení závitů M12:**

Vrtání otvorů Ø10,2 mm - šroubovitý vrták Ø10,2 mm, Typ N, DIN 338, HSS/E, označení - 114400



**Obr. 3.7 Šroubovitý vrták Ø10,2 mm.**

***Řezné parametry:***

Řezná rychlost:  $v_c = 11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv vrtáku na jednu otáčku:  $f = 0,08 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku:  $n = 350 \text{ min}^{-1}$

Řezání závitu M12 - závitník M12 HSS/E DIN 376 stoupání 1,75 mm, označení - 135450



**Obr. 3.8 Závitník M12.**

***Řezné parametry:***

Řezná rychlost:  $v_c = 3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv závitníku na jednu otáčku:  $f = 1,75 \text{ mm}$

Otáčky závitníku:  $n = 80 \text{ min}^{-1}$

Nástroje použité ke zhotovení závitů M16:

Vrtání otvorů Ø14 mm - šroubovitý vrták se stopkou Ø14 mm, DIN 345, HSS/E, označení - 116360



**Obr. 3.9 Šroubovitý vrták se stopkou Ø 14 mm.**

*Řezné parametry:*

Řezná rychlost:  $v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv vrtáku na jednu otáčku:  $f = 0,1 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku:  $n = 230 \text{ min}^{-1}$

Řezání závitů M16 - závitník M16 HSS/E DIN 376 stoupání 2 mm, označení - 135450

*Řezné parametry:*

Řezná rychlost:  $v_c = 3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv závitníku na jednu otáčku:  $f = 2 \text{ mm}$

Otáčky závitníku:  $n = 60 \text{ min}^{-1}$

**3.3.6 Broušení**

Z důvodu velkých délek broušených ploch není dílec broušen na rovinné brusce, ale je upnut ke stolu hoblovky HECKERT, kde je broušen za pomoci přídavného brousicího zařízení, které se upevní k suportu hoblovky. Díky tomu lze na pracovišti hoblovky brousit rovinné plochy velkých délek při jednom upnutí součásti, nevyjímaje zadní díl nátku, kde je délka broušených ploch 4350 mm. Zařízení pracuje s brusnými pásy o rozměrech 50 x 2000 mm. Výkon motoru zařízení je 4000 W.

Jakmile je jedna plocha obrobena dokončovacím hoblováním, vzápětí je také broušena brousicím zařízením. Následně se dílec pootočí tak, aby bylo možné hoblovat a brousit další plochu. Takový postup obrábění je zvolen z důvodu zachování totožné roviny při hoblování a broušení daných ploch. Je tak zaručen minimální úběr materiálu při broušení.



**Obr. 3.10** Přídavné brousicí zařízení.

Plochy zadního dílu nátku, jejichž předepsaná drsnost je  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ , jsou broušeny pásy typu 3M 777F s postupnou velikostí brusných zrn P60, P80, P100, P120, P150, P180 a P240. Jedná se o pásy se zvýšenou tepelnou odolností určené pro broušení nerezových materiálů.

*Pracovní podmínky při broušení brusnými pásy 3M 50 x 2000 777F:*

Rychlost pásu při broušení:  $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Posuvová rychlost stolu:  $v_f = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

### **3.3.7 Elektrochemické leštění broušených ploch dílu**

Elektrochemické leštění je poslední operace prováděna za účelem dosažení drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  broušených ploch. Základem technologie je anodické rozpouštění nerovností povrchu materiálu v elektrolytu. Jelikož firma touto technologií nedisponuje, je elektrochemické leštění prováděno v jedné z nedalekých kooperujících firem. Nicméně ani elektrochemickým leštěním není dosaženo drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Leštěný povrch dílu dosahuje vysokého lesku, ale konečná drsnost povrchu se pohybuje pouze kolem hodnoty  $R_a = 0,3 \mu\text{m}$ . Pozitivním vedlejším efektem elektrochemického leštění, je odstranění nečistot z povrchu dílce, což zlepšuje jeho vzhledové vlastnosti.

---

### 3.4 PROBLÉMY SPOJENÉ S VÝROBOU

Nejproblematictějším místem výroby zadního dílu nátoky papírenského stroje je dosažení předepsané drsnosti stěn  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Při použití současných technologií broušení a následného elektrochemického leštění nebyla výsledná přesnost povrchu příliš uspokojivá, neboť povrchu s drsností  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  nebylo dosaženo. Bylo dosaženo drsnosti povrchu, jejíž hodnota se pohybovala kolem  $R_a = 0,3 \mu\text{m}$ , což způsobuje problémy při předávce dílu zákazníkovi. Vzhledem k těmto nepříliš uspokojivým výsledkům bude kladen důraz na vyřešení tohoto technologického problému.

Zdlouhavou částí výroby je obrábění některých ploch dílce hoblováním. U hoblování se dosahuje vysokého strojního času, jelikož při vratném zpětném pohybu obrobku hoblovací nůž nepracuje a i hodnoty úběru jsou nízké. Za účelem zkrácení celkového času potřebného pro výrobu dílce bude dán návrh pro nahrazení technologie hoblování některou progresivnější metodou obrábění.

## 4. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI

Na základě současného postupu výroby je navržen nový postup s cílem snížit celkové výrobní náklady na dílec a dosáhnout kratších výrobních časů. Snaha o dosažení kvalitnější, rychlejší a efektivnější výroby nabádá k zavádění moderních prvků do výroby a k pokusu o omezení použití nebo úplné nahrazení starých výrobních metod a technologií novými progresivnějšími technologiemi výroby.

Jednou z nejdelších a nejkomplikovanějších operací prováděných při výrobě dílu nátoky je hoblování ploch, které mají po zhotovení dílu dosahovat drsnosti  $Ra = 0,2 \mu m$ . Z důvodu zkrácení výrobního času a tím i dosažení nižších výrobních nákladů potřebných na tuto operaci je zde od technologie obrábění ploch hoblováním upuštěno a je dán návrh, aby plochy byly nově obráběny frézováním.

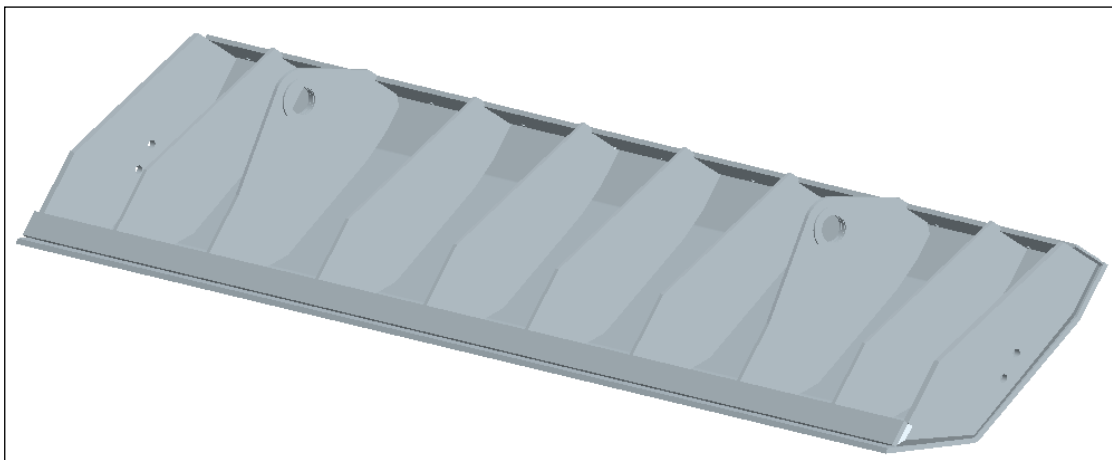
Další technologicky náročnou operací je broušení, které následuje po frézování již výše zmíněných ploch. V dřívějším postupu výroby je k broušení použito klasických brusných pásů za účelem dosáhnout předepsané drsnosti broušených ploch. Jak již bylo uvedeno dříve, tak vysoké kvality povrchu se však broušením klasickými brusnými pásy nepodařilo v podmínkách firmy dosáhnout. Proto musela být následně provedena další operace v podobě elektrochemického leštění, a však ani použitím této technologie není dosaženo cílené hodnoty drsnosti  $Ra = 0,2 \mu m$ . Za účelem docílení přesného a kvalitního povrchu a zkrácení času potřebného na broušení je v novém postupu výroby navrženo použití nové technologie, která k broušení využívá strukturovaných brusných materiálů. Brusné pásy ze strukturovaných brusných materiálů dosahují v mnoha ohledech lepších výsledků než klasické brusné pásy s brusnými zrny.

### 4.1 NOVÝ POSTUP VÝROBY ZADNÍHO DÍLU NÁTOKU PAPIRENSKÉHO STROJE

*- číslo výkresu 6218.208.000 S1*

- 1) **Zámečnické práce** - Připravit pracoviště. Kontrolovat rozměry a přídavky pro opracování. Na pracovní plochu ustavit a vyrovnat POZ. 1 - 7, rozměřit místa pro čela a žebra, stehovat a následně nechat svařit. Po svaření svary upravit a zkontrolovat rovinnost a případně rovnat (montážní lis 80 t). Rozměřit, dolícovat

a stehovat do celkového tvaru POZ. 8, 9, 14, 15. Po svaření upravit svary. Při stehování jeden pomocný dělník.



Obr. 4.1 Zadní díl nátoky po svaření POZ. 1-7 (před přivařením krycích plechů).

- 2) **Ruční svařování v ochranné atmosféře plynu CO<sub>2</sub> + Ar** - Postupně svařovat celý tvar nosníku - vodotěsně. Konzultovat se svařovacím technologem. Stupeň jakosti svaru C dle ČSN EN ISO 5817.
- 3) **Zámečnické práce** - Rovnat svařenec (montážní lis 80 t), jeden pomocný dělník. Stupeň přesnosti svařence - toleranční třída B dle ČSN EN ISO 13 920.
- 4) **Práce při odstraňování vnitřního pnutí** - Vibračně odstranit vnitřní pnutí, VSR - 3.
- 5) **Rýsovačské práce** - Prorýsovat pro opracování.
- 6) **Horizontální vyvrtávačka FCW 150** - Upnout na otočný stůl za plochu POZ. 1, vyrovnat, pomocí křížové frézovací hlavy frézovat na čisto pod úhlem 15° POZ. 6, vrtat otvory 19 x Ø10,2 mm, následně řezat závity 19 x M12. Upnout na otočný stůl k úhelníkům za plochu POZ. 6, vyrovnat, pomocí křížové frézovací hlavy postupně frézovat plochy POZ. 1 s přídávkem 1 mm na plochu (frézovat 1. plochu, výklon křížové hlavy 15° - frézovat 2. plochu, přepnout na pomocné upínací klíny s úhlem 1,78°, vyrovnat, výklon křížové hlavy 55° - frézovat 3. plochu). Upnout na otočný stůl za plochu POZ. 1, výklon křížové hlavy 60°, frézovat úkos na ploše POZ. 1,8. Změřit teplotu kusu a pomocí výpočtu stanovit délkové míry pro frézování čel. Frézovat čela na stanovenou délku ( $L = 4350 + \text{tolerance}$ ), vrtat otvory 16 x Ø14 mm, následně řezat závity 16 x M16 - obě čela kusu. *Program 6218\_208\_000\_S1.*

- 
- 7) **Kontrolorské práce** - Při předchozí operaci změřit teplotu kusu a pomocí výpočtu stanovit délkové míry pro frézování čel. Po ofrézování v předchozí operaci změřit teplotu kusu a délkovou míru a dle naměřených hodnot vystavit protokol.
  - 8) **Zámečnické práce** - Odstranit otřepy po frézování. Provést montáž POZ. 10, 11, 12, 13.
  - 9) **Ruční svařování v ochranné atmosféře plynu CO<sub>2</sub> + Ar** - Kolíky POZ. 10 pojistit svarem.
  - 10) **Kooperace (moření)** - Mořit povrch mimo POZ. 1.
  - 11) **Pracoviště hoblovky** - Nepoškodit mořené plochy. Pomocí přídavného frézovacího zařízení frézovat plochu POZ. 1 na čisto, pomocí přídavného pásového brousicího zařízení ihned po ofrézování brousit pásy Trizact 3M 237AA zrnitosti A100, A45, A30, A16 na Ra = 0.2 μm. Nepoškodit povrch, uložit do přepravního obalu.
  - 12) **Kontrolorské práce** - Konečná kontrola rozměrů.

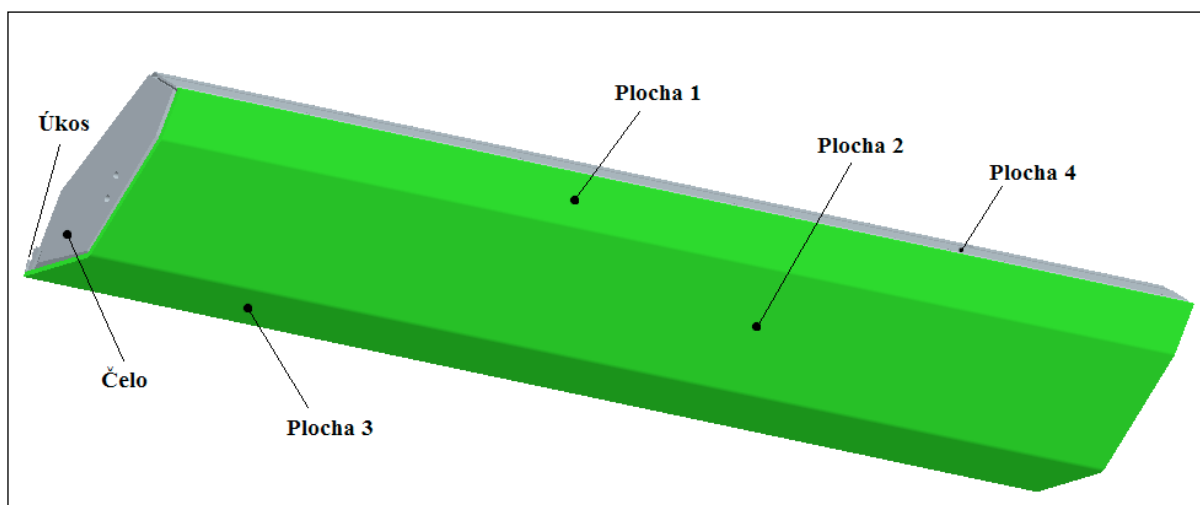
#### 4.1.1 Navržený postup pro frézování jednotlivých ploch zadního dílu nátoku

V dřívější výrobě byly plochy papírenského nátoku obráběny hoblováním. Tato metoda obrábění měla ale jisté nevýhody, z nichž hlavní byla časová náročnost této operace. Kvůli dlouhému výrobnímu času samozřejmě rostla i finanční náročnost operace, spojená se mzdou obsluhy a spotřebovanou energií stroje, která se nakonec odrazila v konečné výrobní ceně celého zadního dílu nátoku papírenského stroje.

Po dokončení obrábění hoblováním následoval přesun dílce na pracoviště horizontální vyvrtávačky, kde byly podle výrobního postupu zhotoveny závity a frézována obě čela s další plochou dílce, která je na výkrese označena jako pozice 6 (obr. 4.2 - Plocha 4).

Z důvodů snížení nákladů a zkrácení času potřebného pro obrobení stěny dílce bylo navrženo, aby technologie obrábění hoblováním byla nahrazena progresivnější metodou obrábění, a to frézováním. Dříve hoblované plochy (obr. 4.2 - vyznačené zeleně) jsou nyní frézovány na CNC horizontálním vyvrtávacím a frézovacím stroji Škoda FCW 150. Na pracovišti CNC horizontálního a vyvrtávacího stroje je možno dříve hoblované plochy frézovat, následně zhotovit závity a frézovat plochu s čely, která se obráběla frézováním i podle dřívějšího výrobního postupu. Díky tomu odpadá složitá manipulace při přemísťování

dílce z pracoviště hoblovky na pracoviště horizontální vyvrtávačky, což samozřejmě také zkracuje celkový výrobní čas potřebný pro zhotovení dílce.



**Obr. 4.2 Zadní díl papírenského nátku s vyznačenými frézovanými plochami.**

V nově navrženém výrobním postupu je z důvodu použití jiné technologie obrábění, změněn postupný sled frézování jednotlivých ploch dílce. Nejprve se dílec k otočnému stolu stroje upne za největší plochu (obr. 4.2 - plocha 2). Díky tomu že stroj je opatřen frézovací křížovou hlavou typu IFVW 206/50, která lze naklápět v rozsahu od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  a to vždy krokově po  $2,5^\circ$ , lze v této poloze dílec frézovat plochu (obr. 4.2 - plocha 4), na kterou bude dílec ustaven při frézování dalších ploch. Frézovací křížová hlava musí být vykloněna pod úhlem  $15^\circ$ . Při stejném upnutí dílce se po délce ofrézované plochy vyvrtá devatenáct otvorů, do nichž se následně vyřežou metrické závity M12.



**Obr. 4.3 Frézovací křížová hlava IFVW 206/50.**



Nyní se dílec ustaví na plochu, která byla ofrézována v předchozím kroku (obr. 4.2 - plocha 4). Dílec se upne ke stolu pomocí upínacích úhelníků z důvodu co nejpevnějšího upnutí při obrábění. Při tomto upnutí se nejdříve frézuje plocha, svírající s deskou stolu pravý úhel (obr. 4.2 - plocha 1). V zápětí se při stejném upnutí frézuje její plocha sousední (obr. 4.2 - plocha 2). Jelikož ale tyto dvě stěny spolu svírají určitý úhel, konkrétně  $165^\circ$ , musí být před frézováním druhé plochy křížová hlava vytočena o  $15^\circ$ .

Frézovací křížová hlava lze vyklánět vždy jen po dílčích úhlech  $2,5^\circ$ . Úhel, který svírá následně frézovaná plocha stěny (obr. 4.2 - plocha 3) se stěnou sousední, je  $138,22^\circ$ . Před obráběním této plochy musí být dílec ustaven a upnut na pomocné upínací klíny. Plocha klínů, na kterou je dílec ustaven, je zešíkmená pod úhlem  $1,78^\circ$ . Bez pomocných upínacích klínů by křížová frézovací hlava vyžadovala vyklonění o  $56,78^\circ$ , což tento typ hlavy neumožňuje. Při použití upínacích klínu je nutno vyklonit frézovací hlavu o úhel  $55^\circ$ , což lze provést bez větších problémů. Nyní může být ofrézována tížená plocha (obr. 4.2 - plocha 3).

Následuje odstranění pomocných upínacích klínů a opětovné upnutí, při čemž dílec je o stůl opřen stejně jako u první frézovací operace, to znamená o největší rovinnou plochu dílce (obr. 4.2 - plocha 2). Nyní se křížová frézovací hlava ze základní polohy vykloní o  $60^\circ$  a tím se fréza dostane do polohy pro ofrézování úkosu  $15^\circ$  (obr. 4.2 - úkos). Při stejném upnutí následuje ofrézování čel. Zde je využito otočného stolu, který se postupně vytočí do obou stran o  $90^\circ$ , a tím se dostanou čela dílce do polohy, ve které se ofrézují. Před vlastním opracováním čel je nutno změřit teplotu dílce a z ní se pomocí výpočtu se stanoví délkové míry pro frézování čel. Nakonec jsou v obou čelech podle výkresové dokumentace zhotoveny závity M16.

#### 4.1.2 Výpočet délkové míry pro frézování čel

Teplotní roztažnost pevných látek vysvětlujeme na základě jejich částicové struktury. Při zvýšené teplotě látky se zvětšuje rozkmit jednotlivých částic a tím se posunují rovnovážné polohy, kolem nichž částice kmitají. V celku se tyto posuny projeví změnou rozměrů tělesa. Se zvyšováním teploty se délkové rozměry zvětšují, při ochlazování se zmenšují. Celková délka tělesa po zahřátí tedy je:

$$L = L_0 \cdot (1 + \Delta t \cdot \alpha)$$

$L$  - celková délka tělesa při zahřátí (ochlazení) [mm]

$L_0$  - původní délka tělesa [mm]

$\alpha$  - součinitel teplotní délkové roztažnosti [-]

$\Delta t$  - rozdíl teplot [°C]

Ve výrobní hale není celoročně dosaženo stejné teploty, která kolísá s ohledem na roční období. Těmito okolnostmi je ovlivňována i teplota dílce, která se také mění podle teploty ve výrobní hale. Délka dílce je 4350 mm s tolerancí + 0,25 mm. Je tedy nutné provést výpočet, kterým se zjistí skutečná délka, na kterou mají být čela dílce ofrézována. Rozměry dílce na výkrese jsou udávány při teplotě dílce  $t_1 = 20$  °C. Skutečně naměřená teplota dílce byla  $t_2 = 24$  °C. Původní délka dílce při 20 °C tedy byla 4350 mm + střední hodnota tolerance tj. 0,13 mm. Z toho vyplývá, že původní délka tělesa byla  $L_0 = 4350,13$  mm. Výpočtem se tedy zjistila skutečná délka dílce, které se muselo při po ofrézování čel dosáhnout.

$$L_0 = 4350,13 \text{ mm}$$

$$t_1 = 20 \text{ °C}$$

$$t_2 = 24 \text{ °C}$$

$$\Delta t = 4 \text{ °C}$$

Součinitel teplotní délkové roztažnosti pro korozivzdornou austenitickou ocel  $\alpha = 16 \cdot 10^{-6}$

$$L = L_0 \cdot (1 + \Delta t \cdot \alpha)$$

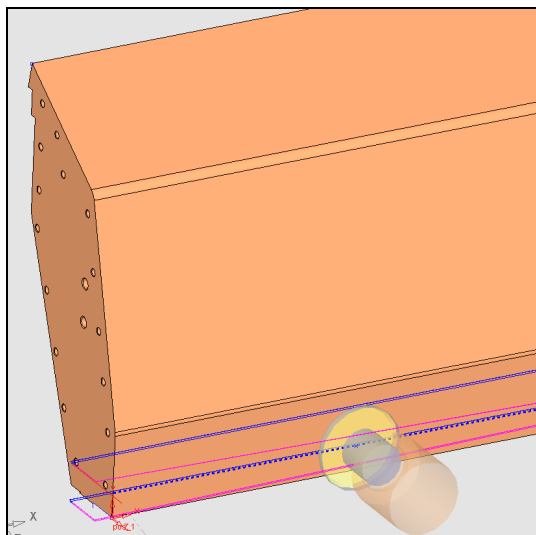
$$L = 4350,13 \cdot (1 + 4 \cdot 16 \cdot 10^{-6})$$

$$\underline{L = 4350,41 \text{ mm}}$$

Při teplotě dílce 24 °C je jeho čela nutné ofrézovat tak, aby konečná délka dílce byla 4350,41 mm.

#### 4.1.3 Program pro frézování plochy zadního dílu nátku

Pro názornost je uvedena část programu č. 6218\_208\_000\_S1 vytvořena pomocí CAD/CAM software CimatronE. Uvedená část programu je určena pro frézování jedné z ploch zadního dílu nátku (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Model obrábění zadního dílu nátoky z programu CimatronE.

**Technické údaje k programu č. 6218\_208\_000\_S1:**

- Najetí počátečních bodů pomocí dotykové sondy RMP60 X0, Y0, Z0 - roh kusu.
- Nástroj: Fréza SANDVIK CoroMill 245 (R245-160Q40-12M).
- VBD: R245-12 T3 K-MM (GC2030).
- Stroj: CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj Škoda FCW 150.

**Program:**

Program vytvořen pomocí CAD/CAM software CimatronE

Řídící systém: SINUMERIK 840D (SIEMENS)

;Soubor : 6218\_208\_000\_s1

; POSTPROCesor S840D SkodaFCW150 PAPCEL

; Tabulka nástroju :

;T="FREZA D160R0" D=160 R=0;T003 vylozeni:20

N101 G90 G17 G54 G64

; frezovani\_pozice\_1

; FREZA D160

; Prumer : 160

; Radius : 0

N102 M05

N103 M00

N104 T003

N105 M06

N106 G00 G40 G17 G90 G54

N107 S200 M03 F200

N108 G00 X-95 Y132.4

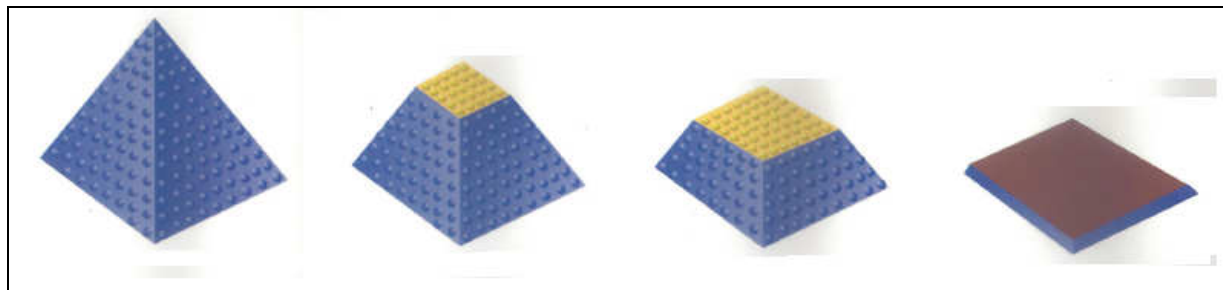
N109 G00 X-95 Y132.4 Z200

N110 G00 X-95 Y132.4 Z15  
N111 G01 X-95 Y132.4 Z-2  
N112 X0 Y132.4 Z-2  
N113 X4350 Y132.4 Z-2  
N114 X4445 Y132.4 Z-2  
N115 G00 X4445 Y132.4 Z100  
N116 G00 X-95 Y52.4 Z100  
N117 G00 X-95 Y52.4 Z15  
N118 G01 X-95 Y52.4 Z-2  
N119 X0 Y52.4 Z-2  
N120 X4350 Y52.4 Z-2  
N121 X4445 Y52.4 Z-2  
N122 G00 X4445 Y52.4 Z200  
N123 M30

#### 4.1.4 Popis technologie broušení strukturovanými brusnými materiály

V nově navrženém postupu výroby je k dosažení povrchu s hodnotou drsnosti  $R_a = 0.2 \mu\text{m}$  použito brusných pásů ze strukturovaných brusných materiálů nazývané pásy Trizact, které vyvinula firma 3M. Jelikož tato nová technologie ještě není příliš rozšířena, bude následovat její stručný popis s uvedením jejích hlavních výhod.

Strukturované brusné materiály představují další vývojový stupeň v procesu mechanických úprav povrchu. Jejich výroba je realizována technologií tzv. mikroreplikace - vytváření malých trojrozměrných tvarů a jejich replikování na materiál, v tomto případě vrstev brusných minerálů ve tvaru čtyřbokých jehlanů, replikovaných na nosný podklad. Povrch strukturovaných brusných materiálů je tvořen malými pyramidami umístěnými v řadách těsně vedle sebe. Při samotném broušení se jehlany plynule obroušují, při čemž se odkrývá čerstvý a ostrý povrch, až do jejich úplného zbroušení. Životnost těchto materiálů a kvalita broušeného povrchu je v porovnání s konvenčními brusnými materiály podstatně vyšší.



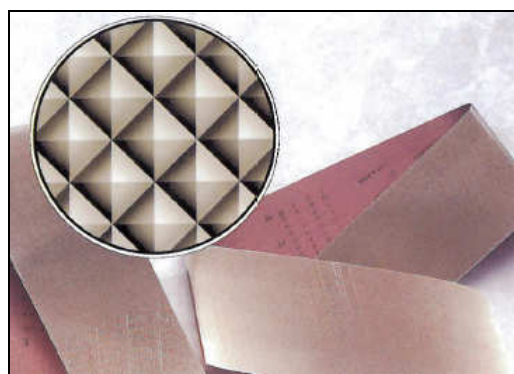
Obr. 4.5 Schéma postupného obroušování strukturovaného brusného materiálu.

Povrch brusných pásů z těchto materiálů tvoří přesná a rovnoměrná struktura, která je aplikovaná na nosnou vrstvu, což zajišťuje vyrovnané rozmístění minerálů. Tím je dosaženo velmi spolehlivých výsledků. Tato struktura je shodná na každém páse a to zaručuje dosažení vždy stejné kvality broušení. Odchylky mezi jednotlivými pásy, respektive opracovanými výrobky, jsou díky tomu téměř vyloučené.

**Tabulka 4.1 Srovnání stupně zrnitosti brusného materiálu Trizact. [17]**

<i>Srovnání klasifikačního systému Trizact a označení zrnitosti podle standardu FEPA</i>	
Stupeň hrubosti segmentů brusného materiálu Trizact [ $\mu\text{m}$ ]	Označení stupně zrnitosti dle standardu FEPA (stupeň P)
A16	P1200
A45	P400
-	P240
A80	-
-	P220
A110	P180

Konstrukce pásů ze strukturovaných brusných materiálů je provedena tak, aby byla zaručena stejná kvalita broušení až do úplného opotřebení brousícího povrchu, které je zřetelné při objevení barvy nosného podkladu. Díky tomu není nutno odhadovat dobu výměny brusného pásu. Jednou z hlavních výhod je snížení nákladů na proces úpravy povrchu. Životnost brusných pásů Trizact je v průměru asi třikrát delší než u klasických brusných pásů, to umožňuje s využitím jednoho pásu Trizact dosáhnout třikrát delší nepřetržitou výrobu. S tím dále souvisí i odstranění prostojů spojených s výměnou brusných pásů. Největší časovou úsporu zajišťuje fakt, že požadované drsnosti povrchu obrobku lze brusnými pásy Trizact dosáhnout v podstatně méně krocích, než je tomu u běžných brusných pásů. Počet potřebných kroků k dosažení požadované drsnosti lze redukovat až na polovinu. Velikost této redukce je v praxi ovlivněna druhem broušeného materiálu, tvarovou složitostí a velikostí broušené plochy.



**Obr. 4.6 Rovnoměrná struktura brusných pásů Trizact. [17]**

Další výhodou je, že při broušení se nemusí používat žádné brusné pasty a chemická rozpouštědla. Proto je použití této technologie velmi ekologické a zaručuje zdravotně nezávadné a čisté pracovní ovzduší. Hlavní výhody brusných materiálů Trizact:

- úspora nákladů při broušení,
- výrazná úspora času při broušení,
- vytvoření přesného a konzistentního povrchu,
- environmentální přístup k broušení,
- delší životnost oproti běžným brusným materiálům.

Strukturované brusné materiály představují novou koncepci brusných materiálů, které nabízejí vyšší úroveň mechanických povrchových úprav různých druhů legovaných ocelí, jakož i neželezných kovů.

#### **4.1.5 Broušení ploch zadního dílu nátoky brusnými pásy Trizact**

Jelikož firma nedisponuje žádným typem brusky takových rozměrů, aby s ní bylo schopno brousit rozměrné plochy zadního dílu nátoky, je broušení dále prováděno při upnutí dílce na stole hoblovky. Stejně tak zůstal nezměněn způsob použití pomocného broušícího zařízení.



**Obr. 4.7 Broušení zadního dílu nátoky broušícím pomocným zařízením.**

Požadovaná drsnost stěny zadního dílu nátoky je  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Té se však broušením klasickými brusnými pásy a následným elektrochemickým leštěním mnohdy nepodařilo dosáhnout. Jak už bylo řečeno dříve, je v nově navrženém postupu výroby k dosažení hladkého povrchu použito brusných pásů Trizact od firmy 3M. Použitím těchto brusných pásů je možno dosáhnout drsnosti povrchu  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  ihned bez dalších dokončovacích operací.

Tomu předchází správná volba parametrů při broušení a dále pak volba brusných pásů s jednotlivými velikostmi brusných segmentů strukturovaného materiálu. Pro volbu zrnitosti strukturovaného brusného materiálu platí stejné obecné pravidlo jako u klasických brusných materiálů a to použití pásů s postupnou velikostí brusných segmentů od hrubších po jemnější. Plochy zadního dílu nátoky, jejichž předepsaná drsnost je  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ , jsou postupně broušeny pásy se sestupnou velikostí segmentů a to konkrétně pásy Trizact A100, A45, A30 a A16 typu 3M 237AA. Volba postupné velikosti brusných segmentů pásů byla provedena dle doporučení výrobce těchto pásů firmy 3M. Zvolený typ pásů je přímo určen k broušení nerezových ocelí a slitin niklu. Broušení se provádí tzv. „na sucho“, bez použití jakékoliv procesní kapaliny, což je velmi ekologické.



**Obr. 4.8 Brusné pásy Trizact 3M 237AA .**

K dosažení určité drsnosti povrchu broušené plochy, která následně umožňuje použití pásů s nižší hrubostí segmentů, je spotřebováno hned několik pásů s hrubostí vyšší, což je způsobeno velkými rozměry broušených ploch. Spotřeba je ale znatelně nižší, než při použití klasických brusných pásů. Snížení počtu procesních kroků je dáno samotnou technologií výroby strukturovaných brusných materiálů. Předběžná spotřeba brusných pásů pro broušení ploch dílce je určena odhadem pouze orientačně. To ale nezpůsobuje žádné větší komplikace, jelikož jsou brusné pásy nakupovány ve větším množství (obvykle každý jednotlivý typ pásu v počtu 20 kusů), než je při broušení dílu nátoky potřebné. Zbylé pásy jsou použity v jiných firemních zakázkách.

Pomocné broušící zařízení pracuje s pásy délky 2000 mm a šířky 50 mm, proto také zakoupené brusné pásy musí mít tyto rozměry.

*Pracovní podmínky při broušení brusnými pásy Trizact 3M 50 x 2000 237AA:*

Rychlost pásu při broušení:  $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Posuvová rychlost stolu:  $v_f = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

#### 4.1.6 Moření povrchu zadního dílu nátoky

Jedná se o chemické čištění povrchu dílce. Moření je provedeno postříkem. Tato operace je do technologického postupu výroby dílce zařazena za účelem dosažení kovově čistého a vzhledově sjednoceného povrchu bez jakýchkoli nečistot. Mořením je ošetřen celý povrch dílce, kromě broušených ploch. Moření se provede v kooperující firmě, protože firma Papcel, a. s. Litovel technologií nedisponuje.

## 4.2 POUŽITÉ STROJE V NOVÉM NÁVRHU VÝROBY

Kromě stávajících strojů použitých v předchozí výrobě přibyl v nově navrženém postupu výroby i stroje nové. V následující kapitole je popsán stroj Škoda FCW 150, na kterém vzrostlo množství prováděných pracovních operací, neboť na něm budou z velké části frézovány plochy, jež byly v dřívější výrobě hoblovány hoblovkou HECKERT. Další nově použitý stroj je přídatné pomocné frézovací zařízení, určené pro dokončovací frézování ploch dílu nátoky. V dřívější výrobě byly i tyto plochy hoblovány.

### 4.2.1 CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj Škoda FCW 150

Pro frézování ploch, vrtání otvorů a řezání závitů při obrábění zadního dílu nátoky byl zvolen CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj Škoda FCW 150. Hlavními důvody pro výběr tohoto stroje byly jeho vysoká přesnost, rychlost obrábění a možnost obrábění součástí velkých rozměrů do délky až 8000 mm, což umožňuje obrábění dílu nátoky po celé jeho délce na jedno upnutí.

Stroj je řízen numericky a pro zajištění jeho základních funkcí je použit NC systém Siemens SINUMERIK 840 D. Pro komunikaci se systémem Siemens SINUMERIK 840D je použit CAD/CAM systém CIMATRON, ve kterém lze provádět 2D/3D projektování a konstruování s možností vytváření přidružené výkresové dokumentace a generování NC programů.



Lože stroje, spodek stojanu, stojan a vřeteník jsou odlitky z šedé litiny a obsahují kompaktní valivá vedení. Smykadlo s automatickým vyrovnáním průhybu při výsuvu z vřeteníku zahrnuje nevýsuvné frézovací vřeteno, výsuvné vrtací vřeteno, přívod procesní kapaliny středem vřetena, hlavní pohon přes dvoustupňovou převodovku s oběhovým mazáním oleje, úhlově orientované zastavení vřetena (rotační snímač), mechanizované upínání nástrojů v libovolné poloze vřetena s kleštinovým upínacím nástavcem podle DIN 69872 a přívod energií na čelo smykadla k mechanizovanému upnutí technologického příslušenství.

Výhodou je otočný stůl TDV 4 pro pracovní pojezdy 2500 mm a s otáčením desky stolu 360°. Hydrostatika zajišťuje plynulé otáčení a to i při maximálním zatížení upínací desky. Další předností je vybavení stroje frézovací hlavou IFVW 206/50/P-FCW s rozsahem otáčení ve dvou osách od 0° do 360°, v provedení pro automatické upnutí na čelo smykadla. Upínání nástrojů se provádí automaticky tahem kleštiny. Přívod procesní kapaliny je zajištěn středem vřetena. [16]

**Tabulka 4.2 Technické parametry horizontální vyvrtávačky FCW Škoda 150. [16]**

<b>HLAVNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE</b>	
<b>Velikosti pojezdu:</b>	
Osa X - stojan po loži [mm]	8000
Osa Y – vřeteník po stojanu [mm]	3000
Osa W – výsuv vrtacího vřetena [mm]	800
Osa Z – výsuv smykadla [mm]	900
Osa W+Ž – výsuv vřetena a smykadla [mm]	1700
<b>Vřeteník:</b>	
Průměr vrtacího vřetena [mm]	150
Středící průměr na frézovacím vřetenu [mm]	221, 45 h5
Upínací kužel pro nástroje	ISO 50
Otáčky vřetena plynule regulovatelné ve dvou mech. stupních [1/min]	10 – 3 000
Pohon vřetena [kW]	40
Max. moment na vřetenu stroje [Nm]	2200
Průřez smykadla [mm]	360 x 400
<b>Posuvy:</b>	
Rychlosti posuvů:	
Osa X [mm/min]	1 – 20 000
Osa Y [mm/min]	1 – 20 000
Osa Z a W [mm/min]	1 – 20 000

<b>Vodící plochy:</b>	
Šířka vedení lože [mm]	1220
Šířka vedení stojanu [mm]	1140
<b>Přesnost polohování podle VDI/DGQ 3441:</b>	
Pro přímé odměřování os X, Y, Z:	
Přesnost polohování [mm]	<b>P</b> = 0,015/1 000
Systematická odchylka [mm]	<b>Pa</b> = 0,010/1 000
Rozptyl polohování (střední) [mm]	Ps = 0,008
Odchylka při reverzaci (střední) [mm]	U = 0,005
Pro každých dalších 1000 mm se <b>P</b> a <b>Pa</b> zvyšuje o 0,005 mm	
Pro nepřímé odměřování osy W:	
	P = 0,030/1 000
	Pa = 0,020/1 000
	Ps = 0,010
	U = 0,010



Obr. 4.9 CNC Horizontální vyvrtávačka FCW 150.



Obr. 4.10 Ovládací panel.

#### 4.2.2 Přídavné frézovací zařízení

Tímto zařízením disponuje pracoviště hoblovky HECKERT, kde je zařízení možno v případě potřeby upevnit k suportu hoblovky. Přídavné frézovací zařízení má výkon motoru 11000 W a umožňuje stupňovitou změnu otáček v rozmezí 58 až 355 otáček za minutu. Zařízení je použito k dokončovacímu frézování ploch, které budou následně broušeny. Při frézování je dílec upnut ke stolu hoblovky.



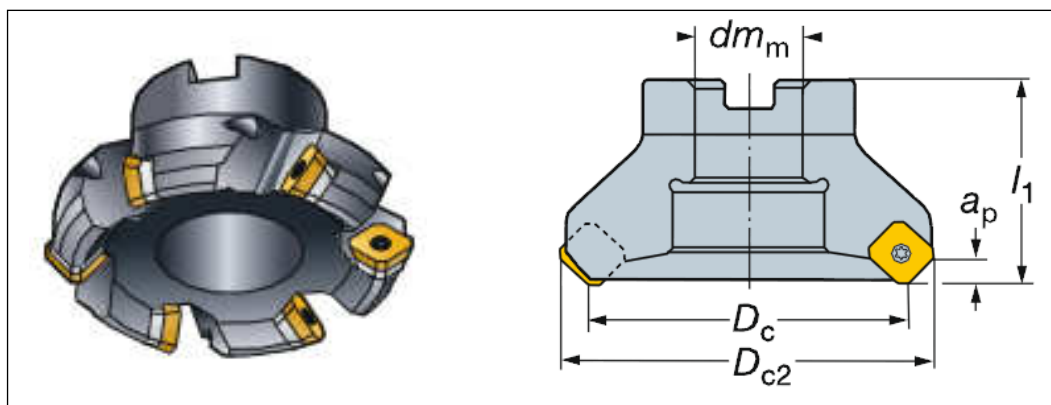
Obr. 4.11 Přídavné frézovací zařízení.

### 4.3 POUŽITÉ NÁSTROJE V NOVÉM NÁVRHU VÝROBY

Vzhledem ke stávajícímu výrobnímu postupu je v nově navrženém postupu výroby obráběno frézováním více ploch. Nově frézované plochy jsou co do velikosti poměrně rozsáhlé. Z toho důvodu je výběru vhodných frézovacích nástrojů věnována vyšší pozornost. Nově navržené nástroje pro frézování jsou oproti dříve používaným výkonnější a kvalitnější a tím umožňují poměrně rychlé opracování rozměrných ploch dílce. Změna vrtáků a závitníků používaných ve dřívější výrobě by nepřinesla žádnou významnější časovou úsporu a proto je použití těchto nástrojů a jejich typ zachován.

#### 4.3.1 Navržení nástrojů pro frézování v novém postupu výroby

Volbu nástroje a VBD ovlivňuje způsob obrábění, druh obráběného materiálu a v neposlední řadě velikost obráběné plochy. S ohledem na tyto ovlivňující faktory je pro frézování stěn dílce navržena fréza CoroMill 245 s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) od firmy Sandvik - Coromant, která má úhel nastavení 45°. Na základě zkušeností pracovníků firmy Papcel a.s. je použití obráběcích nástrojů vyrobených firmou Sandvik - Coromant zárukou dosažení kvalitních výsledků v procesu obrábění. Výhodou frézy CoroMill 245 je rozsah jejích aplikačních oblastí od hrubování až po dokončování povrchu [15]. Z důvodu nenarušení celkové stability soustavy při frézování je zvolen typ frézy se střední rovnoměrnou roztečí zubů a s menší velikostí VBD, vhodných pro oblast středního obrábění. Vzhledem k velikosti šířky obráběné plochy je zvolen průměr frézy 160 mm.

Navržená fréza CoroMill **R245-160Q40-12M**

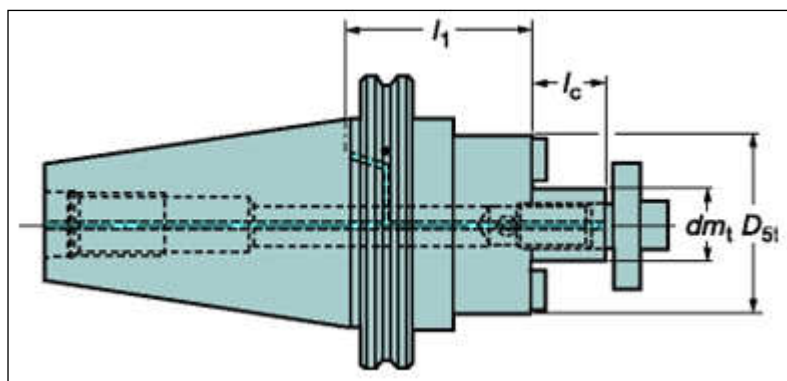
Obr. 4.12 Fréza CoroMill 245. [15]

Tabulka 4.3 Technické parametry frézy CoroMill 245. [15]

Označení	Rozměry [mm]					Počet zubů z	Hmotnost [kg]
R245-160Q40-12M	$D_c$	$dm_m$	$D_{c2}$	$l_1$	Max. $a_p$		
	160	40	172,5	63	6	10	5

Fréza bude upnuta v držáku typu Weldon pro čelní válcové frézy.

Adaptér pro čelní frézu **A1B05-50 40 050**



Obr. 4.13 Adaptér pro čelní frézu A1B05-50 40 050. [15]

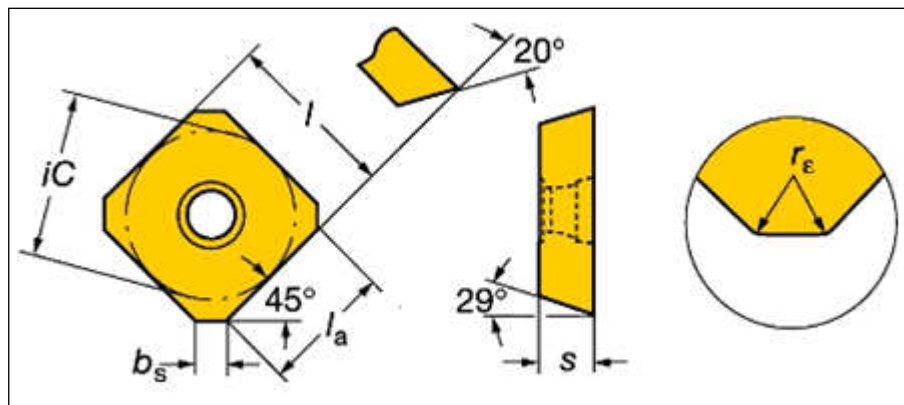
Tabulka 4.4 Technické parametry adaptéru A1B05-50 40 050. [15]

Druh vřetena	Rozměry [mm]				Velikost ISO kužele	Hmotnost [kg]
ISO 7388.1	$Dm_t$	$D_{5t}$	$l_1$	$l_c$		
	40	89	50	27	50	3,9

Pro frézu CoroMill 245 byly vybrány povlakované vyměnitelné břitové destičky (VBD) velikosti 12 mm. VBD mají vysokou trvanlivost a největší uplatnění nacházejí v oblastech středního až dokončovacího frézování. Vzhledem k druhu obráběného materiálu, což je v tomto případě korozivzdorná austenitická ocel, je zvolena VBD karbidové třídy GC2030

vhodná pro obrábění materiálu skupin M15 - M30 podle normy ISO. Na VBD je nanesen povlak TiAlN-TiN metodou PVD o tloušťce 4  $\mu\text{m}$  [15].

Navržená břitová destička **R245-12 T3 K-MM**



Obr. 4.14 Vyměnitelná břitová destička R245-12 T3 K-MM. [15]

Tabulka 4.5 Rozměry VBD R245-12 T3 K-MM. [15]

Označení	Rozměry [mm]					
R245-12 T3 K-MM	l	iC	l <sub>a</sub>	s	b <sub>s</sub>	r <sub>ε</sub>
	12	13,4	10	3,97	2	1,5

*Návrh řezných parametrů při frézování:*

**Hrubovací frézování** - stroj Škoda FCW 150; nástroj - fréza CoroMill 245, Ø160 mm

Řezná rychlost:  $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Otáčky nástroje:  $n = 200 \text{ min}^{-1}$

Posuv na zub:  $f_z = 0,1 \text{ mm}$

Hloubka řezu:  $a_{p \max} = 3 \text{ mm}$

Šířka řezu:  $a_{e \max} = 140 \text{ mm}$

**Dokončovací frézování** - pomocné frézovací zařízení, obrobek na stolu hoblovky; nástroj - fréza CoroMill 245, Ø160 mm

Řezná rychlost:  $v_c = 75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Otáčky nástroje:  $n = 150 \text{ min}^{-1}$

Posuv na zub:  $f_z = 0,07 \text{ mm}$

Hloubka řezu:  $a_{p \max} = 1 \text{ mm}$

Šířka řezu:  $a_{e \max} = 140 \text{ mm}$

---

Řezné podmínky jsou navrženy s ohledem na tuhost a výkon strojů a v neposlední řadě také na konstrukci a upnutí dílce tak, aby byla zajištěna celková stabilita soustavy při frézování. Musí být zamezeno vzniku příliš velkých vibrací, které by se v první řadě projevíly špatnou kvalitou obrobené plochy. Při volbě řezných podmínek bylo také využito zkušeností kvalifikované obsluhy stroje. Navržené řezné podmínky jsou pouze orientační a předpokládá se jejich doladění přímo na obráběcím stroji.

## 5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nově navržený technologický postup výroby zadního dílu nátoku, který vychází z postupu původního, nabízí řešení technologických problémů spojených s výrobou dílce a možnost jistých ekonomických a hlavně časových úspor. Toho bylo dosaženo zavedením nových technologií a moderních prvků do výroby. Výhodou pro firmu je, že není potřeba žádných velkých investic, které by podmiňovaly použití nově navržené technologie výroby. Větší investice vymezené jen pro zadní díl nátoku jsou zbytečné i z toho důvodu, že při výrobě zadního dílu nátoku papírenského stroje se jedná o kusovou výrobu. Takovýchto stejných nebo podobných dílů, u kterých se při výrobě dá použít stejný technologický postup výroby, se zhotoví ve firmě Papcel, a.s. Litovel 2 až 4 kusy ročně.

Největším technologickým problémem bylo dosažení hladkého povrchu stěn dílce, které budou v provozu přicházet do styku s papírenskou vodolátkou. Předepsaná výrobní drsnost těchto stěn je  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ . Takto přesného povrchu se v dřívější technologii výroby nepodařilo dosáhnout, ani když byl povrch po broušení elektrochemicky leštěn. Tato skutečnost působila značné problémy při předávce dílu zákazníkovi a navíc bylo broušení ploch časově velmi náročné.

V nově navrženém výrobním postupu je tento problém vyřešen použitím odlišné technologie broušení. Místo dosud používaných klasických brusných pásů s brusnými zrny je k broušení ploch použito brusných pásů ze strukturovaných brusných materiálů. Použitím této nové technologie bylo dosaženo přesného povrchu o drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  bez potřeby použití dalších elektrochemických nebo jiných úprav povrchu. Další výhodou je ekologičnost technologie, jelikož při broušení odpadá nutnost použití procesní kapaliny.

### 5.1 ZHODNOCENÍ STANOVENÝCH VÝROBNÍCH ČASŮ

Jednotlivé výrobní časy potřebné pro výrobu zadního dílu nátoku jsou stanoveny z normativů firmy. Jedná se o časy jednotlivých výrobních operací potřebných pro zhotovení dílce.

Vzhledem k velké hmotnosti a rozměrům dílce jsou přípravné časy  $t_{BC}$  poměrně dlouhé. Velká část přípravných časů  $t_{BC}$  je například potřebná pro upínání dílce. Významná část přípravných časů  $t_{BC}$  je také spotřebována při přemísťování dílce mezi jednotlivými pracovišti, jimiž musí dílec při výrobě projít. Manipulace s dílcem je realizována pomocí mostových jeřábů. Větší délku přípravných časů způsobují jednak již zmíněné velké rozměry



dílce a také nevýhodné rozmístění pracovišť, které jsou od sebe značně vzdáleny. Z těchto důvodů byly přes veškerou snahu přípravné časy  $t_{BC}$  v nově navržené technologii výroby sníženy jen minimálně.

Převážnou část výrobních časů však představují časy strojní  $t_{AC}$ . Tyto časy představují součet časů potřebných pro vykonání jednotlivých úseků výrobních operací pro zhotovení zadního dílu nátoky. Strojní časy  $t_{AC}$  je možno snížit nahrazením starých technologií technologiemi pokrokovějšími, dále zvýšením řezných rychlostí při obrábění nebo také snížením počtu výrobních operací, potřebných pro zhotovení dílce, vhodnými změnami v technologických postupech výroby.

Všechny výrobní časy stanovené pro jednotlivé výrobní operace potřebné ke zhotovení zadního dílu nátoky jsou uvedeny v přílohách č. 4 a č. 5. V následující tabulce jsou uvedeny jen ty výrobní časy, které se při použití původní a nově navržené technologie výroby liší.

**Tabulka 5.1 Porovnání výrobních časů potřebných pro zhotovení zadního dílu nátoky.**

<i><b>Výrobní čas potřebný pro výrobu zadního dílu nátoky</b></i>		
Operace	Výrobní časy v <b>původní</b> technologii výroby [hod]	
Hoblování	$t_{BC}$	1,5
	$t_{AC}$	32,5
Frézování a zhotovení závitů	$t_{BC}$	1,5
	$t_{AC}$	9
Dokončovací hoblování a broušení	$t_{BC}$	3,5
	$t_{AC}$	56
Ostatní	$t_{BC} + t_{AC}$	81,65
<b>Celkem</b>	<b>185,65</b>	
Operace	Výrobní časy v <b>nově navržené</b> technologii výroby [hod]	
Hoblování	$t_{BC}$	x
	$t_{AC}$	x
Frézování a zhotovení závitů	$t_{BC}$	3,5
	$t_{AC}$	18,75
Dokončovací frézování a broušení	$t_{BC}$	2,5
	$t_{AC}$	36
Ostatní	$t_{BC} + t_{AC}$	81,65
<b>Celkem</b>	<b>142,40</b>	



Z tabulky 5.1 je zřejmé, že použitím nově navržené technologie výroby se celkový čas potřebný k výrobě zadního dílu nátoky výrazně sníží, a to o téměř o čtvrtinu původního výrobního času. Časových úspor bylo dosaženo dvěma hlavními inovacemi. První velkou inovací je změna metody obrábění. Plochy doposud obráběny hoblováním jsou v nově navrženém postupu výroby nahrazeny produktivnějším frézováním. Druhou inovací je použití nové technologie broušení brusnými pásy ze strukturovaných brusných materiálů. Zkrácení času potřebného k broušení je dosaženo díky delší životnosti pásů, což snižuje množství prostojů při jejich výměně, ale především snížením počtu procesních kroků potřebných k dosažení požadované drsnosti. Při použití původní technologie bylo k dosažení povrchu o drsnosti  $R_a = 0,3 \mu\text{m}$  dosaženo v osmi krocích včetně elektrochemického leštění. V nově navržené technologii je dosaženo přesnějšího povrchu o drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  pouze ve čtyřech krocích bez potřeby použití dalších dokončovacích operací.

## 5.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY ZADNÍHO DÍLU NÁTOKU

Finanční úspory v nově navržené technologii výroby dílu vychází částečně z úspor časových. Hodinová sazba výrobních pracovišť je bez ohledu na druh prováděné operace jednotná a to 520 Kč. V nově navržené výrobní technologii je dosaženo časové úspory 43,25 hodin. Celková finanční úspora z výrobních pracovišť tedy v tomto případě činí 22 490 Kč.

K další úspoře finančních prostředků dojde při práci prováděných v kooperaci. Do původního výrobního postupu bylo zařazeno elektrochemické leštění broušených povrchů. Za jeho provedení byla kooperující firmou účtována částka 17 000 Kč. Do nově navrženého výrobního postupu už zařazení elektrochemické leštění nebylo nutné. Nově však bylo do výrobního postupu začleněno moření povrchu dílce za účelem odstranění nečistot a zlepšení vzhledových vlastností. Také moření dílce je provedeno ve stejné kooperující firmě a jeho cena činí 7 000 Kč. Z toho vyplývá, že výše finanční úspory u operací prováděných v kooperaci činí 10 000 Kč.

Nejvyšší navržená investice byla do frézovacích nástrojů od firmy Sandvik - Coromant. Kvalitní nástroje umožňují stabilní obrábění vyššími řeznými rychlostmi, než s dříve používanými nástroji. Cena nové frézy včetně upínacího systému činí 26 860 Kč, jelikož ale nástroj bude využit při frézování v mnoha jiných zakázkách, je návratnost investice téměř jistá a cena nástroje není tedy do nákladů pro zadní díl nátoky přímo započtena.

Co se týče nově použitých VBD od firmy Sandvik - Coromant, jejich cena je vyšší, mají ovšem delší trvanlivost, než VBD od firmy Pramet Tools a.s.

**Tab. 5.2 Srovnání cen VBD od obou firem.**

Pramet Tools a. s.		Sandvik Coromant	
Označení VBD	Cena	Označení VBD	Cena
SEMT 09T3AFSN	161 Kč	R245-12 T3 K-MM	246 Kč

Brusné pásy Trizact použité v nově navrženém postupu výroby mají cenu vyšší, než je cena klasických brusných pásů. Vzhledem k tomu, že je použit menší počet pásů Trizact s různou velikostí brusných segmentů, dojde i zde k jistým finančním úsporám, jak lze vidět v tabulce 5.3.

**Tab. 5.3 Srovnání cen u obou typů brusných pásů od firmy 3M.**

Klasické pásy typu 3M 777F Rozměry 50 x 2000 mm			Pásy Trizact typu 3M 237AA rozměry 50 x 2000 mm		
Stupeň brusného materiálu	Cena za kus	Spotřeba pásů při broušení [ks]	Stupeň brusného materiálu	Cena za kus	Spotřeba pásů při broušení [ks]
P60	120 Kč	5	A100	161 Kč	6
P80	110 Kč	5	A45	163 Kč	5
P100	122 Kč	4	A30	162 Kč	3
P120	117 Kč	4	A16	162 Kč	3
P150	94 Kč	4	-	-	-
P180	115 Kč	3	-	-	-
P240	107 Kč	3	-	-	-

Zde je nutno zdůraznit, že hlavním ovlivňujícím faktorem použití technologie broušení brusnými pásy Trizact není jejich cena, ale především dosažená kvalita broušeného povrchu, která je vyšší, než při použití klasických brusných pásů. Větší význam než ceny pásů zde samozřejmě má i výrazné zkrácení strojních časů potřebných pro broušení.

---

## 6. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala racionalizací obrábění zadního dílu nátoku papírenského stroje ve firmě Papcel, a.s. Litovel, která je významným dodavatelem strojírenských výrobků firmám podnikajícím v papírenském průmyslu. Nově navržený postup výroby vychází ze stávající technologie výroby dílu. Na základě strojního vybavení firmy a problémů spojených s dřívější výrobou zadního dílu byl navržen nový postup výroby, který se snaží zefektivnit celkovou výrobu a odstranit problémy s ní spojené.

Na konci práce je provedeno srovnání stávající a nově navržené technologie výroby zadního dílu nátoku z hlediska časové i finanční náročnosti. Výsledky ukazují, že v nově navržená technologii výroby dojde ke snížení výrobních časů hlavně a v tomto důsledku se dosáhne i jistých finančních úspor. Toho bylo dosaženo především zavedením nových technologií do výrobního procesu.

Brusné systémy na bázi strukturovaných brusných materiálů navíc nabízí široké možnosti využití při výrobě mnoha jiných součástí, kde je požadovaná vysoká přesnost obrobených povrchů.

---

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II. - 1. díl*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 119 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT Brno, 2003. 138 s.
- [3] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. 1470 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [4] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů. – 1. část*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999. 142 s. ISBN 978-80-248-1053-9.
- [5] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 142 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [6] ZAJAC, Josef; JURKO, Josef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění. II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [7] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [8] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I – 1. díl*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 136 s. ISBN 80-7078-811-9.
- [9] BILÍK, Oldřich. *Obrábění 2 – 2. díl*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995. 113 s. ISBN 80-7078-944-1.
- [10] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 150 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [11] MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje: Řezné nástroje – 1. díl*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 188 s. ISBN 80-7078-941-7.

- 
- [12] MORYS, Emil; DRAHOŇOVSKÝ, Alois. *Výroba papíru: pro 3. ročník středních odborných učilišť*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1985. 264 s.
- [13] Katalog firmy Papcel, a.s. Litovel: Marketingové oddělení Papcel, a.s., 2006. 150 s.
- [14] Katalog firmy Pramet Tools a.s. *Frézování*, 2010. 294 s.
- [15] Katalog firmy Sandvik Coromant. *Rotační nástroje*, 2011. 456 s.
- [16] CNC horizontální a vyvrtávací stroj Škoda, typ FCW 150: Složení pracoviště a technické parametry. Litovel: Papcel, a.s., 2003. 21 s.
- [17] Katalog firmy 3M Česko, spol. s.r.o. *Brusné systémy*, 2007.
- [18] Papcel, a.s. Litovel [online]. [citováno 6. března 2011]. Dostupné na WWW: < <http://www.papcel.cz/> >.

---

## 8. PŘÍLOHY

**Příloha č. 1** Výkresová dokumentace zadního dílu nátoky papírenského stroje.

**Příloha č. 2** Stávající technologický postup výroby zadního dílu nátoky papírenského stroje.

**Příloha č. 3** Nově navržený technologický postup výroby zadního dílu nátoky papírenského stroje.

**Příloha č. 4** Stanovené výrobní časy pro operace v původní technologii výroby.

**Příloha č. 5** Stanovené výrobní časy pro operace v nově navržené technologii výroby.

## Příloha č. 4

Tabulka 8.1 Stanovené výrobní časy pro operace v původní technologii výroby.

Výrobní čas potřebný pro výrobu zadního dílu nátoku			
č.op.	Operace (pracoviště)	Výrobní časy potřebné pro původní technologii výroby [hod]	
1	Zámečnické práce - 1	t <sub>BC</sub>	2,5
		t <sub>AC</sub>	32
2	Svařování - 1	t <sub>BC</sub>	1
		t <sub>AC</sub>	24,5
3	Zámečnické práce - 2	t <sub>BC</sub>	1
		t <sub>AC</sub>	7,5
4	Odstranění pnutí	t <sub>BC</sub>	0,8
		t <sub>AC</sub>	4
5	Rýsovačské práce	t <sub>BC</sub>	0,6
		t <sub>AC</sub>	2,75
6	Hoblování	t <sub>BC</sub>	1,5
		t <sub>AC</sub>	32,5
7	FCW 150 - frézování, výroba závitů	t <sub>BC</sub>	1,5
		t <sub>AC</sub>	9
8	Kontrolorské práce	t <sub>BC</sub>	0
		t <sub>AC</sub>	0
9	Zámečnické práce - 3	t <sub>BC</sub>	0,25
		t <sub>AC</sub>	3
10	Svařování - 2	t <sub>BC</sub>	1,75
		t <sub>AC</sub>	1,5
11	Dokončovací hoblování a broušení	t <sub>BC</sub>	3,5
		t <sub>AC</sub>	56
12	Elektrochemické leštění (kooperace)	t <sub>BC</sub>	x
		t <sub>AC</sub>	x
13	Kontrolorské práce	t <sub>BC</sub>	0
		t <sub>AC</sub>	0
Celkem		185,65	

## Příloha č. 5

Tabulka 8.2 Stanovené výrobní časy pro operace v nově navržené technologii výroby.

Výrobní čas potřebný pro výrobu zadního dílu nátku			
č.op.	Operace (pracoviště)	Výrobní časy potřebné pro nově navrženou technologii výroby [hod]	
1	Zámečnické práce - 1	t <sub>BC</sub>	2,5
		t <sub>AC</sub>	32
2	Svařování - 1	t <sub>BC</sub>	1
		t <sub>AC</sub>	24,5
3	Zámečnické práce - 2	t <sub>BC</sub>	1
		t <sub>AC</sub>	7,5
4	Odstranění pnutí	t <sub>BC</sub>	0,8
		t <sub>AC</sub>	4
5	Rýsovačské práce	t <sub>BC</sub>	0,6
		t <sub>AC</sub>	2,75
6	FCW 150 - frézování, výroba závitů	t <sub>BC</sub>	3,5
		t <sub>AC</sub>	18,75
7	Kontrolorské práce	t <sub>BC</sub>	0
		t <sub>AC</sub>	0
8	Zámečnické práce - 3	t <sub>BC</sub>	0,25
		t <sub>AC</sub>	3
9	Svařování - 2	t <sub>BC</sub>	1,75
		t <sub>AC</sub>	1,5
10	Moření (kooperace)	t <sub>BC</sub>	x
		t <sub>AC</sub>	x
11	Dokončovací frézování a broušení	t <sub>BC</sub>	2,5
		t <sub>AC</sub>	36
12	Kontrolorské práce	t <sub>BC</sub>	0
		t <sub>AC</sub>	0
Celkem		142,40	



**Poděkování**

Závěrem bych chtěl poděkovat konzultantovi mé diplomové práce panu Ing. Petru Ženožičkovi za cenné rady a informace, které mi v průběhu zpracování práce poskytl. Dále děkuji firmě Papcel, a.s. Litovel za možnost zpracování diplomové práce.

A v neposlední řadě také vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za poskytnuté rady při zpracovávání diplomové práce.